



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Industrial
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

**Aplicación de la metodología Six Sigma para la mejora
en la uniformidad del producto final en una fábrica de
neumáticos**

TESINA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Raúl Eduardo ECHEVARRÍA QUISPE

ASESOR

Daniel Humberto MAVILA HINOJOZA

Lima, Perú

2016



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Echevarría, R. (2016). *Aplicación de la metodología Six Sigma para la mejora en la uniformidad del producto final en una fábrica de neumáticos*. [Tesina de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



ACTA N°024-DAcad-FII-2016

SUSTENTACIÓN DE TESINA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

El Jurado designado por la Facultad de Ingeniería Industrial, reunido en acto público en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Industrial, el día **Lunes 14 de Noviembre de 2016**, a las 9:00 horas, dio inicio a la sustentación de la tesina:

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA LA MEJORA EN LA UNIFORMIDAD DEL PRODUCTO FINAL EN UNA FÁBRICA DE NEUMÁTICOS”

Que presenta el Bachiller:

ECHEVARRIA QUISPE, RAÚL EDUARDO


Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial en la Modalidad:
Perfeccionamiento Profesional.

Luego de la exposición, absueltas las preguntas del Jurado y siendo las...10:00 horas se procedió a la evaluación secreta, habiendo sido aprobado por unanimidad con la calificación promedio 1.6, lo cual se comunicó públicamente.

Ciudad Universitaria, 14 de Noviembre de 2016


MG. LEÓN VELÁSQUEZ WILLIAM JAIME
Presidente


ING. VIZARRETA CHIA ROBERTO ISMAEL
Miembro


MG. MAVILA HINOJOZA DANIEL HUMBERTO
Asesor

AGRADECIMIENTO

A mis padres, hermanas, amigos, profesores
y mentores, quienes me fortalecen a diario.

A todos ellos, por estar siempre presente en
cada uno de mis proyectos apoyándome
constantemente.

I. RESUMEN

La uniformidad en las especificaciones de un neumático es una variable importante para el cliente y el vendedor puesto que aseguran un servicio seguro y un proceso estable que en conjunto satisfacen las necesidades de ambas partes.

Un enfoque direccionado a las variables de entrada que asegure la calidad de las variables de salida es necesario si se desea emprender mejoras en la fabricación de productos que posean uniformidad propia de una planta con estándares de calidad muy altos. Por eso es recomendable utilizar la metodología Six Sigma que busca la mejora continua y la reducción de defectos para la solución de problemas

Como parte inicial de la tesina se presenta a la empresa y todo lo que hay que conocer sobre el giro del negocio y algunos factores externos como las políticas, visión y misión que acompañan al caso. A continuación se hace un breve recuento sobre el marco teórico de la herramienta Six Sigma para informar al lector de las consideraciones teóricas a tener durante la tesina.

Como siguiente etapa de la tesina se comienza definiendo el norte del proyecto y justificándolo con los valores de ventas de la empresa, esto para poder hacer un diagnóstico de la situación actual y calcular la capacidad potencial inicial del proceso.

Más adelante se analizan las variables relacionadas a la mejora de la uniformidad y mediante el diseño de experimentos desarrollado en un paquete estadístico se logra obtener la combinación ideal de los valores necesarios para cumplir con la meta. Para poder cumplir con estos valores, se desarrollan planes de acción con el fin de asegurar la mejora continua del proceso.

Los resultados de esta tesina nos demuestran como aplicando la metodología de Six Sigma, el proceso estudiado es capaz de mejorar su capacidad potencial y reducir los efectos de forma sostenible y perdurable.

II. ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

I. RESUMEN.....	i
II. ÍNDICE.....	ii
III. INTRODUCCIÓN	iv
IV. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	v
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Six Sigma como método de trabajo	2
1.3. Fundamentos de la metodología Six Sigma	5
1.4. Los Roles Six Sigma	6
1.5. Beneficios.....	8
1.6. Grado de uniformidad en un neumático	9
1.7. Componentes de la uniformidad	9
CAPÍTULO II: SOBRE LA EMPRESA.....	12
2.1. Descripción de la empresa.....	12
2.2. Sector y actividad económica	12
2.3. Concepción de cliente y de producto	12
CAPÍTULO III: SOBRE EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA LLANTA.....	15
3.1. Materia prima	15
3.2. Proceso de fabricación.....	15
CAPÍTULO IV: DEFINIR Y MEDIR.....	18
4.1. Objetivo.....	18
4.2. Proceso de selección de proyectos.....	18
4.3. Desarrollar el plan de ejecución del proyecto y recolectar datos	20
4.4. Representar y analizar datos	24
CAPÍTULO V: ANALIZAR Y MEJORAR.....	33
5.1. Análisis de correlación entre variables	33
5.2. Análisis de Causa Efecto.....	38
5.3. Análisis del Modo y Efecto de la Falla.....	38
5.4. Planes para la mejora del proceso.....	39

CAPÍTULO VI: CONTROLAR	40
6.1. Control estadístico de resultados	40
6.2. Análisis de capacidad de procesos.....	43
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
7.1. Conclusiones	44
7.2. Recomendaciones.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	47

III. INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la industrialización de los procesos productivos, la calidad ha ido ocupando poco a poco el lugar que se merece dentro de las organizaciones, es por eso que velar por el aseguramiento de la misma es crucial para la permanencia de un producto en el mercado, el liderazgo de una marca y la retención y captación de clientes.

La uniformidad es calidad desde cualquier punto de vista que se le analice y el cumplimiento de la uniformidad entre los productos finales es sinónimo de mayores ganancias a largo plazo. Las herramientas de mejora continua han ayudado mucho al desarrollo de estrategias y planes de acción para prevenir y corregir defectos.

Es por eso que esta tesina busca dar un rumbo a quienes quieran aplicar Six Sigma en sus organizaciones sobre todo a aquellos profesionales que se especializan en el sector automotriz.

En un inicio se da una revisión al marco teórico investigado desde los antecedentes existentes en otras tesis hasta los fundamentos más específicos de Six Sigma y uniformidad. Inmediatamente después se continúa con la revisión del caso y de los datos necesarios para el análisis por parte del lector como son los datos de la empresa y del proceso en sí.

Con esto podemos darnos paso a la metodología en sí y explorar los componentes de la metodología definiendo los objetivos del proyecto para poder llegar a representar la situación actual del proceso. Este paso nos ayudará a tener una visión clara de los factores internos y externos que afectan a la uniformidad. En el capítulo de análisis y mejora se presentarán todas las propuestas y planes de acción para poder atacar las causas de los problemas y llegar los objetivos planteados.

La parte final de la metodología y de la tesina se centra en el control estadístico de resultados y el diagnóstico de las mejoras efectuadas en el proceso.

En conclusión, mediante esta tesina se demostrará la efectividad de la metodología Six Sigma para la obtención de mejoras sostenibles en los resultados de uniformidad del producto final en una fábrica de neumáticos.

IV. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

IV.I. Definición del problema

IV.I.I. Problema general

Para poder plantear el problema general debemos comenzar formulando la siguiente interrogante que más adelante nos permitirá deducir el objetivo general de nuestra investigación: ¿De qué manera la aplicación de la metodología de Six Sigma mejoraría la uniformidad del producto final?

IV.I.II. Problemas Específicos

Para poder plantear los problemas específicos debemos comenzar formulando las siguientes preguntas que más adelante nos permitirán deducir los objetivos específicos de nuestra investigación:

- ¿De qué manera podemos optimizar la variación de las fuerzas para lograr la uniformidad de nuestro producto final?
- ¿De qué manera podemos optimizar las variables que afectan esta fuerza con el fin de optimizar la variación de la misma?

IV.II. Objetivos de la investigación

IV.II.I. Objetivo general

El objetivo general que se planteará para esta investigación responde a la interrogante formulada en el problema general: La aplicación de la metodología de Six Sigma busca mejorar la uniformidad del producto final al incrementar el índice de capacidad del proceso.

IV.II.II. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que se plantearan para esta investigación responden a las interrogantes formuladas en los problemas específicos:

- Optimizar la variación de las fuerzas que impactan a la uniformidad del producto final mediante el uso de la metodología Six Sigma.
- Optimizar las variables que afectan esta fuerza con el fin de optimizar la variación de la misma.

IV.III. Justificación e importancia de la investigación

Una vez definidos los objetivos de la investigación, debe responderse una pregunta: ¿Por qué se investiga? A esta interrogante se le dará respuesta desde la perspectiva teórica y la práctica.

IV.III.I. Justificación Teórica

La razón desde el punto de vista teórico por el cual se va a investigar es el deseo de reafirmar la validez del modelo teórico de Six Sigma en la realidad de una planta de neumáticos.

IV.III.II. Justificación Práctica

El resultado de la investigación permite explicar la validez de la herramienta Six Sigma a través de su aplicación. La investigación ayudara a mejorar los sistemas y procedimientos de una empresa u organización. Mejorará la situación actual del indicador de uniformidad del producto final de una planta de neumáticos.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. Sobre la herramienta : “Six Sigma”

Durante la investigación se pudieron encontrar dos tesis que tratan sobre Six Sigma y su aplicación en situaciones reales:

Barahona Castillo, Leandro. Navarro Infante, Jessica. Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología Six Sigma. 2013. Tesis (Título de Ingeniero Industrial). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 117 p.

En la fase de definición se identifica el problema principal del área de galvanizado mediante una matriz de enfrentamiento que considera una serie de factores para cada uno de los problemas encontrados, dando como principal problema el alto consumo de zinc. Además, se elabora el “Project Charter”, la voz del cliente, los diagramas de proceso y el cronograma de trabajo.

En la fase de medición se describe la situación actual del proceso a través del mapa de flujo de valor, se identifican las variables de entrada-salida de cada uno de los procesos del área de galvanizado para seleccionar las variables críticas del proceso que influyen en el problema principal y se evalúa el costo de la no calidad. Se emplea la prueba R&R, gráficos de control y el análisis de la capacidad del proceso para obtener la situación actual del proceso en estudio.

La fase de análisis se divide en dos grupos: análisis del proceso y análisis de datos. En el primer grupo se identifican los desperdicios en base al mapa de flujo de valor y las oportunidades de mejora a través del uso de las herramientas de Lean Manufacturing, donde se hace un planteamiento de la situación actual. En el segundo grupo se efectúa el análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables correspondientes a este grupo, donde se obtienen que la longitud de inmersión en la tina de zinc (m) y la velocidad de recogido (m/min) son variables causa raíz que influyen en el problema principal.

La fase de mejorar es la última que se desarrolla y se divide en dos grupos: mejoras utilizando herramientas de Lean Manufacturing y Six Sigma. En el primer grupo se desarrolla el planteamiento de la mejora propuesta por cada herramienta

analizada en la fase anterior y su beneficio. En el segundo grupo se desarrolla el diseño de experimentos para las dos variables que influyen en el problema principal, analizadas en la fase anterior. De esta manera se obtienen los valores de las variables que optimizan el valor de la capa de zinc a 274.7 g/m².

- Tinoco Ángeles, Felix Enrique. Implementación de un sistema de mejora continua basado en el modelo de calidad Six Sigma en el servicio de almacenaje de concentrados mineros en una empresa operadora logística de minerales. 2013. Tesis (Título de Magister en Gestión de Operaciones y Servicios Logísticos). Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 103 p.

En la tesis mencionada se implementó un sistema de calidad basándose en a la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) de Six Sigma para mejorar la calidad en el servicio de almacenaje de concentrados mineros de un operador logístico de minerales. Como primer paso de la metodología se identificó el problema a solucionar de acuerdo a los requerimientos del cliente y las principales causas que generan este problema. Esto con la finalidad de determinar cuáles de estas causas son las que guardan mayor relación con el problema y son más significativas dentro del modelo de calidad. Una vez determinadas estas causas principales se elaboró el modelo de calidad en base a estas con lo que se lograría disminuir el nivel de mermas generadas por las diversas operaciones realizadas. Finalmente se determinaron las mejoras aplicadas, tomando como base las causas principales encontradas inicialmente, mejoraron significativamente la calidad del servicio de almacenaje, es decir lograron disminuir la merma.

1.2.Six Sigma como método de trabajo

Es una filosofía de negocios con enfoque en la satisfacción del cliente. Utiliza una metodología para disminuir el desperdicio a través de la reducción de la variación en los procesos. La metodología Six Sigma se apoya de herramientas estadísticas y administrativas para mejorar de una manera tangible los resultados de desempeño de los procesos y productos de una empresa. Seis sigma no solo es un una metodología de mejora sino también un sistema de dirección para lograr el liderazgo en los negocios y el máximo desempeño que beneficie al negocio, a sus clientes, asociados y accionistas así como una medición para definir la capacidad de cualquier proceso.

Para poder establecer Six Sigma en una organización se debe tener en claro los siguientes preceptos:

- Todo trabajo ocurre en un sistema de procesos interconectados.
- Variación existe en todos los procesos.
- Entender y reducir variaciones de los procesos son dos factores fundamentales para el éxito de cualquier proyecto.

1.2.1. El significado del nombre:

Un Sigma es una medición de variación que se representa por la letra griega que lleva el mismo nombre " σ ". Representa a la desviación estándar mide cuánto se separan los datos de un conjunto de valores.

En la figura n°1 se observan que la frecuencia de datos a un Sigma de desviación estándar se encuentra cerca al promedio de los datos, mientras que las frecuencias de datos más alejados están a tres Sigma de desviación. Por otro lado cabe recalcar que los datos más alejados, para un comportamiento normal de la curva de Gauss, son cada vez menores en su frecuencia que los datos que están cerca al o en el promedio.

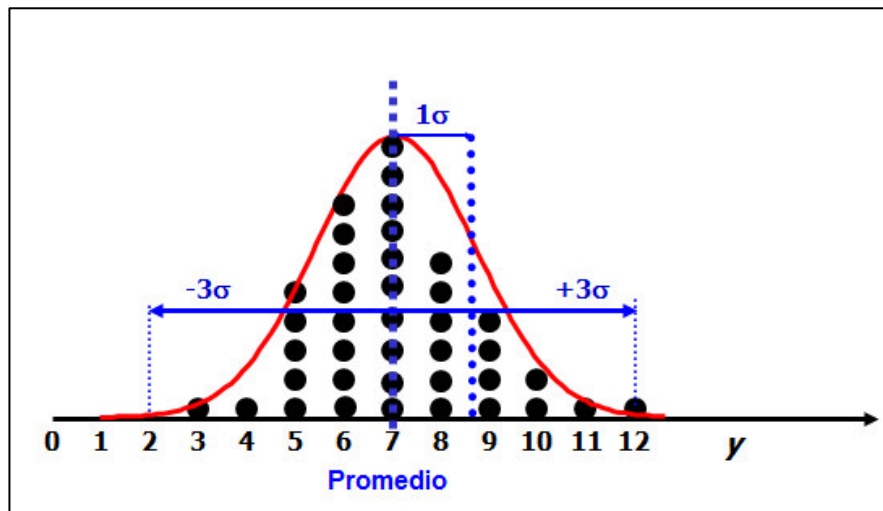


Figura N°1: Frecuencia de datos

Fuente: www.cursos6sigma.com

La mayoría de los procesos productivos se encuentran ligados a un comportamiento normal o distribución normal Z. Esto es un requisito para poder continuar con el análisis que más adelante se irá detallando.

Entonces, el proceso de Seis Sigma está tan bien extendido y controlado que la sexta desviación estándar esta entre el promedio de salida y la especificación límite inferior o superior del conjunto de datos. Ver figura N°2

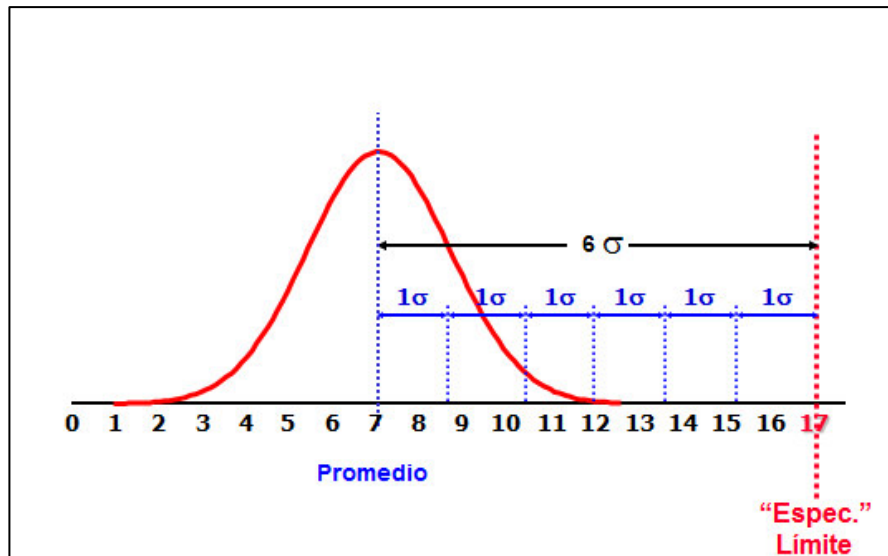


Figura N°2: Definición de Six Sigma
Fuente: www.cursos6sigma.com

1.2.2. Meta u objetivo del Six Sigma

El actual objetivo de un proyecto Six Sigma dependerá de muchos factores, por lo que los objetivos no siempre serán de seis Sigma. Numéricamente podemos definir los objetivos en escalas del Sigma observando la siguiente figura (Ver Figura N°3).

-1 Sigma = 15.87% sin error
 0 Sigma = 50.00% sin error
 2 Sigma = 97.72% sin error
 3 Sigma = 99.87% sin error
 4 Sigma = 99.997% sin error
 6 Sigma = 99.9999999% sin error

Figura N°3: Objetivos del Six Sigma
Fuente: www.slideshare.net

1.3.Fundamentos de la metodología Six Sigma

En esta parte se hará una revisión genérica de los fundamentos de Six Sigma.

1.3.1. Definir

En la Etapa DEFINIR debemos identificar claramente el problema considerando la Voz del Cliente, identificar el proceso y tener un objetivo específico, medible, alcanzable, realista y que pueda ser cumplido a tiempo, incluyendo los beneficios esperados para el Cliente y para la empresa.

- Problema: se deben listar e identificar los hechos claves conocidos
- Métrica: debemos preguntarnos el cómo podemos medir el desempeño
- Proceso y alcance: se refiere a cuanto del proceso se puede mejorar y que salidas deben incluirse.
- Desempeño y metas: Se analiza el impacto financiero y la mejoría planeada.
- Dinámica organizacional: En esta parte designamos a los actores fundamentales en el proyecto, tanto como a los dueños del proceso.

1.3.2. Medir

El objetivo primario de la etapa de Medición es encontrar las “x” sospechosas que provocan las malas “y”. Es pre-requisito fundamental es haber levantado el proceso tal como “es” desde un alto nivel hasta el detalle o procesos de bloques incluyendo el proceso funcional.

El uso de la matriz de causa efecto nos permitirá dirigir nuestra búsqueda de una manera ordenada pero con la participación de los expertos del proceso o un equipo adecuado.

Luego ésta búsqueda inicial nos permitirá realizar un plan de medición que nos permitirá obtener nuestra línea base, tanto en costos, el porcentaje de defectos y el nivel Sigma actual.

1.3.3. Analizar

En la etapa “Analizar” debemos confirmar la definición del problema o problemas y su(s) causa(s) raíz. El uso metódico del Diagrama Causa – Efecto o espina de pescado asociado al “Análisis de Modo y Efecto de Falla” (AMEF) y el efecto en estrecha relación con el conocimiento preciso del proceso que queremos mejorar, las “X’s” o entradas críticas y su efecto en las “Y’s” o

características del producto que el cliente percibe, nos permitirán llegar a la significancia de los problemas y causas que buscamos. La validación de las causas raíces con herramientas estadísticas como correlación - regresión, “Análisis de Varianza” (ANOVA) confirmarán la significancia desde el punto de vista estadístico. Al haber validado los problemas y sus causas raíces estaremos listos para la etapa de mejora.

1.3.4. Mejorar

En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto como una relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso y una herramienta clave para esto es el “Diseño de Experimentos” (DOE por sus siglas en ingles) que es un ensayo o serie de ensayos en los que se realizan cambios selectivos en las variables de entrada de un proceso o sistema para que podamos observar e identificar las razones de los cambios en la respuesta de las variables de salida.

1.3.5. Controlar

Los planes de control son críticos para mantener los beneficios de aplicar Six Sigma. Si no se asegura que se mantenga los beneficios, todos los esfuerzos para hacer mejoras y, de hecho, el tiempo y esfuerzo gastado en aprender procesos de Six Sigma simplemente habrán sido malgastados. Se deben garantizar que los planes de control sean robustos y que sean seguidos. Los planes de control contribuyen a la competencia continua de la organización durante largo plazo.

1.4. Los Roles Six Sigma

1.4.1. Ejecutivo / CEO

Las implementaciones más exitosas de la estrategia Six Sigma han estado totalmente respaldadas por algún ejecutivo de alto nivel como el presidente de la organización. Ellos eligen e impulsan Lean Six Sigma como estrategia organizacional y aseguran recursos para lograr la correcta implementación de la misma.

1.4.2. Champion

Da soporte para la identificación y la selección de proyectos. Guía al equipo de trabajo de Six Sigma de acuerdo con la estrategia organizacional. Asiste en la selección de los BB y GB. Provee recursos y ayuda a remover barreras para la

ejecución de proyectos. Beneficiario directo del ahorro financiero. Familiarizado con la estrategia Lean Six Sigma.

1.4.3. Líder del proyecto

Trabaja pro activamente para identificar proyectos potenciales junto con los Champions. Ayuda en la fase de definición del proyecto. Aprueba el proyecto antes de pasar a la fase de ejecución. Deben de involucrarse cuando se hable de cambios en su proceso. Posición con influencia en la toma de decisiones que afecten al proceso.

1.4.4. Black Belt

Dedica el 100% de su tiempo a Six Sigma .experto en uso de herramientas Six Sigma. Da soporte a establecer prioridades a lo posibles proyectos. Mentor y entrenador de Black Belt's. Trabaja con los Green Belt's en el desarrollo de sus proyectos. Apoya en la traducción de ahorros financieros. Principales agentes de cambio dentro de la organización hacia Six Sigma.

1.4.5. Green Belt

Dedica parte de su tiempo Six Sigma además de dominar las herramientas estadísticas. Participa y lidera en proyectos bajo la tutela del Black Belt y además de las funciones y genera e identifica oportunidades de mejora en la organización. Apoya en la selección a los miembros del equipo de su proyecto. Completa al menos 2 proyectos al año con un ahorro típico de 50k USD. (United States Dollars por sus siglas en inglés).

1.4.6. Yellow Belt

Le dedica parte de su tiempo a Lean Six Sigma. Participa y lidera eventos Kaizen, además de las funciones y responsabilidades inherentes a su puesto. Completa al menos 2 proyectos al año con un ahorro típico de 25 k USD.

1.4.7. White Belt

Tiene un trabajo definido, se le invita a los eventos Kaizen o de “Mejoras rápidas”. Participa activamente al menos en 2 proyectos al año.

1.5. Beneficios

El comportamiento de la mejora con Six Sigma demuestra la tendencia de subida constante y sólida en relación al tiempo de implementación y a los beneficios obtenidos por la organización. Los métodos tradicionales de mejora presentan un crecimiento inestable en relación a las variables anteriormente mencionadas. (Ver figura N°4)

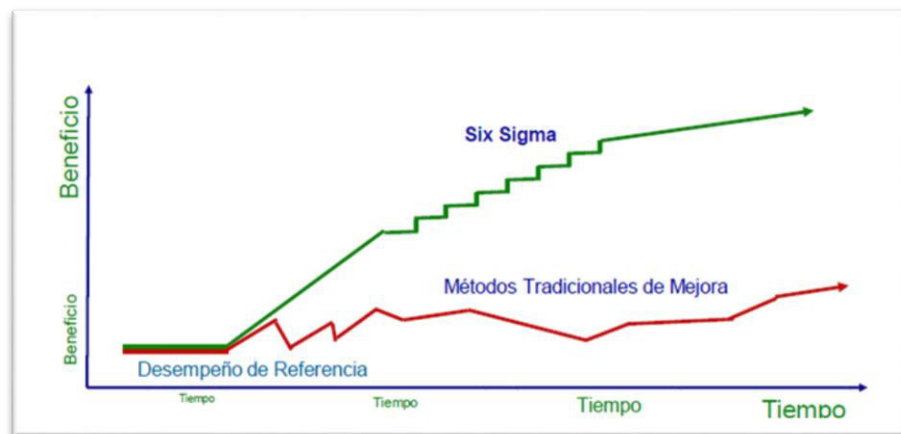


Figura N°4: Beneficio Vs Tiempo – Six Sigma

Fuente: Elaboración propia

Los beneficios de corto, mediano y largo plazo como consecuencia de la implementación de la metodología Six Sigma se verán agrupados de la siguiente manera:

Negocio

- Empresas competitivas.
- Nuevas oportunidades de negocio.
- Rentabilidad sostenida.

Reducción de defectos

- Menores costos.
- Mayor satisfacción del cliente.

Cambio de altura

- Trabajo en equipo.
- Pensamiento ágil.
- Toma de decisiones basada en datos.
- Desarrollo de conocimiento.

Fuerza de trabajo altamente entrenada

- Hacer su trabajo más fácil.
- Incrementar su efectividad.
- Incrementar su habilidad para resolver problemas.

1.5.1. Uniformidad en el producto

En un mercado donde el cliente tiene muchas alternativas de calidad y precios competitivos es muy importante que la apariencia y funcionalidad de nuestro producto sea un factor importante dentro de los indicadores de satisfacción del cliente y para eso, necesitamos conocer que debemos hacer y como lo haremos para ser los líderes del mercado por calidad y apariencia.

1.6. Grado de uniformidad en un neumático

Una de las mayores ventajas de las llantas hoy en día es la mayor área de contacto, esto se debe a la rigidez del perímetro y la flexibilidad de sus componentes laterales, pero que a su vez, genera mayor sensibilidad a la vibración y golpeteo.

El GU (Grado de Uniformidad) es un porcentaje que se determina mediante la sumatoria de las variaciones de fuerzas transmitidas por una llanta a un vehículo durante el servicio expresadas también en porcentaje. Los parámetros de uniformidad son aquellos que afectan al producto final y que su desviación se manifiesta en el servicio, estos deben ser evaluados en el producto final.

Se determina mediante la siguiente fórmula:

$$GU\% = \Delta FR\% + \Delta FL\% + \Delta FC\%$$

1.7. Componentes de la uniformidad

1.7.1. Variación de Fuerza Radial (FR)

Es la medición de la fuerza incidente al centro de masa de una llanta sobre el rodado. Es la fuerza resultante entre la superficie del rodado y la superficie de tracción durante el uso. La variación en cualquier punto alrededor de la circunferencia de una llanta es considerada como variación de la fuerza radial. El principal efecto de la alta variación de fuerza radial es el golpeteo de la llanta de arriba hacia abajo. (Ver figura N°5)

$$\Delta FR\% = \frac{FR_{final} - FR_{inicial}}{FR_{inicial}} \%$$

FR inicial= Es la fuerza en Newton que ejerce el rodillo de prueba en el primer contacto con la llanta.

FR final= Es la fuerza en Newton que ejerce el rodillo de prueba al efectuar el neumático una vuelta completa sobre su eje.



Figura N°5: Variación de fuerza radial

Fuente: Elaboración propia

1.7.2. Variación de Fuerza Lateral (FL)

La medición de la fuerza lateral se define como la fuerza perpendicular a la trayectoria de movimiento de la llanta y a la variación de lado a lado alrededor de la llanta se le conoce como variación de la fuerza lateral. (Ver figura N°6)

Su principal efecto es que la llanta vibra de un lado al otro.

$$\Delta FL\% = \frac{FL_{final} - FL_{inicial}}{FL_{inicial}} \%$$



Figura N°6: Variación de Fuerza Lateral

Fuente: Elaboración propia

1.7.3. Variación de Fuerza de Conicidad (FC)

La asimetría de los componentes laterales o radiales que conforman una llanta puede generar este tipo de fuerza. La resultante de esta fuerza debe ser igual a cero para que se le pueda considerar perfectamente simétrica. La tendencia a tirar hacia un lado o hacia el otro lado es la llamada variación de la conicidad y el principal efecto es que la llanta es jalada hacia el lado derecho o izquierdo. (Ver figura N°7)

$$\Delta FC\% = \frac{FC_{\text{externa}} - FC_{\text{interna}}}{FC_{\text{interna}}} \%$$

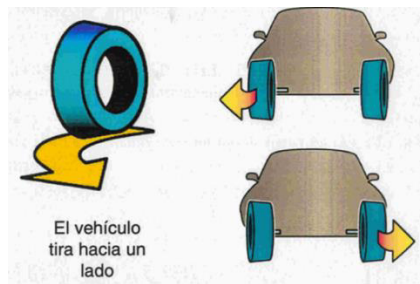


Figura N°7: Variación de Fuerza de Conicidad

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II: SOBRE LA EMPRESA

2.1.Descripción de la empresa

A continuación se detallaran datos específicos sobre la empresa en la cual se realiza la implementación.

2.2.Sector y actividad económica

LLANTAS DEL PERU SA es una empresa dedicada a la fabricación, venta y exportación de llantas así como de servicios de supervisión y mantenimiento a los productos vendidos. Se encuentra categorizada como rubro automotriz por ser parte del ensamblaje de un automóvil desde la fabricación de sus neumáticos. En la Tabla 1 se detalla el CIIU.

Seccion D Industrias Manufactureras
Division 25 Fabricacion de productos de caucho y plasticos
251 Fabricación de productos de caucho
2511 Fabricación de cubiertas y cámaras de caucho; recauchutado y renovación de cubiertas de caucho
Actividades comprendidas: <ul style="list-style-type: none">— Fabricación de cubiertas de caucho para vehículos, equipo, maquinaria móvil, aeronaves, juguetes, muebles y otros usos:<ul style="list-style-type: none">• Cubiertas neumáticas.• Cubiertas sólidas y mullidas.— Fabricación de cámaras para cubiertas.— Fabricación de bandas de rodadura intercambiables, fajas de protección de la cámara, tiras de remiendo para recauchutar cubiertas, etcétera.— Recauchutado y renovación de cubiertas.

Tabla 1: Clasificación Internacional Industrial Uniforme CIIU: 2511

Fuente: “Departamento de asuntos económico y sociales” – Naciones Unidas

2.3.Concepción de cliente y de producto

LLANTAS DEL PERU SA tiene clientes nacionales e internacionales. Dentro de la cartera de clientes nacionales se encuentran las distribuidoras de llantas exclusivas de la empresa que venden las llantas según la demanda. Otros clientes son algunos autoservicios y supermercados. Los clientes internacionales son las empresas

automotrices que demandan llantas de mayor calidad para ensamblarlas en los automóviles que producen, a estas llantas se les llamará, “equipo original”. Por otro lado brinda servicios de mantenimiento y reparación a nivel nacional en cada uno de sus centros especializados y de reencauche ubicados en algunos grifos de Lima y provincia.

En relación al producto, este se divide en tres líneas: la línea de llantas de camión, las llantas de uso convencional y la línea de llantas radiales. Cada línea cubre las necesidades de cada tipo de cliente pero tienen básicamente el mismo proceso productivo.

2.3.1. Perfil Organizacional y principios empresariales

Misión

Entregar un portafolio de Productos y Servicios en segmentos estratégicos de mercado, excediendo las necesidades dinámicas de todas las partes interesadas.

Visión

Ser la elección preferencial de los clientes en el negocio de llantas a nivel nacional e internacional.

Valores

LLANTAS DEL PERU SA se ha enfocado en una frase "Proteja nuestro buen nombre". Hoy, esto se refleja en la vida mediante el desarrollo de una cultura en la cual un equipo competitivo y comprometido de asociados puede sobresalir. Estos valores también se manifiestan a través de nuestro compromiso en los productos que vendemos y en los consumidores que confían su trabajo diario en ellos.

2.3.2. Políticas

Dentro de la empresa se siguen las siguientes políticas:

- Política de Seguridad
 - Conductas seguras
 - Entrenamiento
 - Mejoras rápidas de equipo de protección personal

- Políticas de Medio Ambiente
 - Control de material contaminante
 - Prevención de inhalación de gases
- Política de Salud Ocupacional
 - Higiene industrial
 - Protección contra ambientes de alto riesgo
 - Ergonomía

2.3.3. Unidades de Negocio

LLANTAS DEL PERU SA comprende dos unidades de negocio esenciales para el tipo de producto y servicio que se brinda:

- Venta de neumáticos (a nivel nacional y exportación)
- Soporte técnico y mantenimiento

La empresa trabaja con distribuidoras exclusivas a nivel nacional y con centros especializados en Lima y provincias.

2.3.4. Clientes

La empresa busca satisfacer las necesidades de los clientes con sus productos y también con el servicio de postventa. El sector automotriz es amplio a nivel nacional y global, por lo que los clientes se podrían encontrar en cualquier lugar a donde llegue un automóvil.

2.3.5. Proveedores y distribuidores

Los más importantes para el proceso productivo ya que de ellos depende el cumplimiento de producción y la calidad del producto. Son socios estratégicos importantes para la llegada de nuestro producto a mejores y más amplios mercados, así como la satisfacción de nuestros clientes finales.

2.3.6. Empleados

Es todo el recurso humano de nuestra empresa que está conformado por gerentes, ingenieros, administradores, contadores, programadoras, operarios, ayudantes, supervisores y jefes de planta.

CAPÍTULO III: SOBRE EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE UNA LLANTA

Es de vital importancia conocer sobre el proceso de fabricación de un neumático. El proceso es llevado a cabo en una planta con las condiciones ambientales adecuadas para la emanación de vapores propios de los procesos de mezclado de gomas, calandreo de gomas y telas, entubado y vulcanización así como de otros tantos que se irán detallando a lo largo de este capítulo.

3.1. Materia prima

3.1.1. Caucho natural y sintético

El caucho es la materia prima fundamental para la fabricación de una llanta. Este material en composición con otros dará forma, cuerpo, elasticidad, tracción y resistencia a la llanta durante todo el proceso de fabricación.

3.1.2. Pigmentos, aceites y negro de humo

Importantes para el proceso de mezcla, aportan viscosidad y plasticidad al caucho en altas temperaturas durante el molido.

3.1.3. Alambres de acero

Se utilizan en dos procesos de prefabricación. En el proceso de fabricación de los talones de acero o aros de la llanta y en el proceso de fabricación de la banda o faja de acero radial.

3.1.4. Telas de Nylon

Conforma la estructura de la llanta y se encuentra en todo el cuerpo de la misma, en la zona interior específicamente. Las telas generan consistencia y simetría a la llanta y a su vez durabilidad.

3.2. Proceso de fabricación

3.2.1. Pesado de pigmentos

El proceso consiste en el pesado de los pigmentos a ser utilizados durante el molido del caucho. Se preparan bolsas de acuerdo a una cantidad de mezcla y a la fórmula de cada tipo de compuesto. (Ver figura N°8 en el anexo)

3.2.2. Mezcla de gomas

El proceso de mezclado se realiza en la maquina Bambury en involucra a una mezcladora de pigmentos, aceites y caucho a altas temperaturas. El resultante es una goma cruda que será utilizada durante el resto del proceso. (Ver figura N°9 en el anexo)

3.2.3. Extrusión de componentes

Los componentes llamados rodados, costados y ápex son extruidos por esta máquina. Los productos en proceso son almacenados a temperatura ambiente y deben cumplir un mínimo de 2 horas para su uso. (Ver figura N°10 en el anexo)

3.2.4. Calandrado de telas

El proceso de calandreo consiste en el engomado de los hilos de Nylon que son previamente alineados en mayas al ser pasados por dos rodillos. Al producto final del proceso de calandreo se le llama “tela calandrada” y se almacena en fardos de polietileno que preservan su humedad y viscosidad. (Ver figura N°11 en el anexo)

3.2.5. Calandrado de goma

Este proceso tiene como finalidad obtener un material adhesivo producto de la combinación de gomas especiales con el caucho a través de dos rodillos que aportan el calibre y el ancho del material. (Ver figura N°12 en el anexo)

3.2.6. Proceso de conformación de pestañas

En esta parte de proceso se obtendrán los aros de acero que van en pares en las llantas. Se conforman por distintos números de vueltas de alambre, así como distinto tamaño del diámetro o cantidad de goma. Algunas de las pestañas son cubiertas por Apex o Cobre, material procedente del calandrado de gomas. (Ver figura N°13 en el anexo)

3.2.7. Proceso de Steelastic

Al igual que el proceso de calandreo de telas, el alambre enmallado es procesado para obtener lo que se conoce como tratamiento de alambre que es enrollado en carretes de polietileno para luego ser usado en la máquina de construcción de absorbedores. (Ver figura N°14 en el anexo)

3.2.8. Proceso de construcción de absorbedores

Luego de obtener el tratamiento de alambres, se construyen los absorbedores de acero que van alrededor de la carcasa de la llanta por debajo del rodado. (Ver figura N°15 en el anexo)

3.2.9. Proceso de construcción

Es el proceso de ensamble de los componentes de una llanta antes de ser vulcanizada. Aquí convergen los materiales provenientes del proceso de entubado, Calandrado de telas y gomas, Entubado de pestañas. Este proceso requiere de la habilidad y la precisión del operario constructor. (Ver figura N°16 en el anexo)

3.2.10. Proceso de pintado de llantas

Luego de ser ensambladas o construidas, las llantas verdes pasan por un proceso previo a la vulcanización. Este proceso de pintado consiste en lubricar las llantas internamente y externamente para que se amolden perfectamente al momento del inflado de la vejiga de las prensas. Este lubricante deberá secarse al menos por dos horas antes de que las llantas sean llevadas a vulcanizar. (Ver figura N°17 en el anexo)

3.2.11. Proceso de vulcanización

La vulcanización es el proceso de calentamiento de la goma cruda en presencia de azufre en altas temperaturas además de presión. La goma cruda pasa a un estado sólido que presenta resistencia a la deformación y al desgaste. Esta pérdida de plasticidad hace que la llanta adopte la tracción necesaria para poder mover a un automóvil y a su vez hacerlo frenar. (Ver figura N°18 en el anexo)

3.2.12. Proceso de inspección visual

El proceso de inspección visual es el proceso que tiene más relación con el cliente final en todo el proceso de manufactura, Su principal función es evitar que enviemos productos que no reúnan los estándares visuales. (Ver figura N°19 en el anexo)

3.2.13. Proceso de Inspección de variación de fuerza

Todas las llantas radiales deben pasar por inspección electrónica siendo pasadas por las máquinas para evaluar la variación de fuerza. La máquina FVM (Force Variation Machine por sus siglas en inglés) mide las fuerzas radiales, laterales y la conicidad que se producen durante el proceso. (Ver figura N°20 en el anexo)

4.1. Objetivo

El principal objetivo de estas dos etapas es que el proyecto debe seguir los pasos de la metodología Six Sigma, incluyendo la importancia del cliente y del negocio:

- Reunir e interpretar la voz del cliente
- Hacer un plano de los procesos de negocio de alto nivel
- Identificar temas importantes para el negocio
- Completar el proceso de selección del proyecto

4.2. Proceso de selección de proyectos

4.2.1. Generar

Es importante considerar la voz de los cuatro pilares claves en una empresa, esto nos dará la certeza de en qué estamos trabajando realmente.

4.2.2. La voz del mercado

El mercado que solicita de nuestros productos es un mercado creciente y en búsqueda de precios más bajos y de mayor calidad y variedad en sus productos.

4.2.3. La voz de los negocios

El análisis financiero obliga plantear la siguiente interrogante: ¿Dónde se quedan las oportunidades para crecer? Los resultados y el análisis de las ventas de la última década nos indican que las oportunidades de crecimiento y de obtención de más utilidades se encuentran en las plantas ensambladoras de automóviles que necesitan de neumáticos con altos grados de uniformidad.

4.2.4. La voz del proceso

El desperdicio (el más crítico es el que reporta al final de la línea con un neumático rechazado).

El costo alto y el consumo de recursos de inspección para etapas que podrían auto gestionarse y producir con calidad.

Los problemas con los nuevos productos y con la adecuación de las nuevas medidas.

4.2.5. La voz de los socios

El conocimiento de los problemas y de las oportunidades laborales dentro de la planta y la oficina para la mejora de los procesos y el clima laboral.

Preguntar:

Nos toca preguntarnos: ¿Dónde podemos aplicar Six Sigma como herramienta para obtener resultados? ¿Dónde y cuales metodologías podríamos usar alternativamente para solucionar otros problemas? ¿Disponemos del recurso necesario para atender el proyecto seleccionado?

Definir:

Al responder estas interrogantes podremos llegar a la conclusión que existe la oportunidad de aplicar la metodología Six Sigma y obtener mejores resultados si hacemos que la voz de los negocios y la voz del proceso sean las que nos guíen.

Priorizar:

Existen metodologías y herramientas que nos pueden ayudar a dar solución a las oportunidades que se presentan respecto a la eliminación de desperdicio, al costo alto de inspección y la adecuación de nuevas medidas a nuestro programa productivo. La voz del negocio nos pide hacer uso de una herramienta que nos permita crecer en el mercado, repotenciar la marca y obtener mayores utilidades.

Seleccionar:

Entonces queda en nuestras manos, seleccionar el norte que seguirá el proyecto y éste es el de mejorar el grado de uniformidad de nuestros neumáticos, empezando por la medida con mayor impacto de ventas en los últimos años en las plantas de ensamblaje de autos. (Ver figura N°21 en el anexo)

La medida escogida para el estudio será la “Todo Terreno 155R14 Sport” que es la que tiene una mejor proyección de ventas.

4.3.Desarrollar el plan de ejecución del proyecto y recolectar datos

4.3.1. Plan de Ejecución

Con el fin de ordenar el paso a paso del proyecto y presentar la propuesta a la gerencia comercial y de operaciones, se ha diseñado un Gantt que permite darle fechas tanto de entrega como de arranque a las etapas del proceso. Un tiempo de entrega estándar para los proyectos Six Sigma es el de 6 meses, por lo que si comenzamos en Enero, en Junio del mismo año estaríamos observando resultados. Para llevar a cabo y ejecutar las etapas que Six Sigma necesita, se dividieron las funciones entre el personal calificado. (Ver figura N°22 en el anexo)

4.3.2. Diseño de la muestra

Se debe tomar la información de un número de llantas específico para poder conocer el estado actual de nuestro indicador “Grado de Uniformidad” (GU). Debido a que el proyecto tiene una duración promedio de 6 meses, y el número de unidades vendidas promedio por mes durante el último semestre ha sido de 3004 neumáticos (ver figura N°23 en el anexo) se debe calcular la cantidad de llantas que deberán ser monitoreadas durante el mes de Febrero por el White Belt. (Ver figura N°23 en el anexo)

Para el tamaño muestral tomamos la fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N \delta^2}{e^2 (N - 1) + \delta^2 Z_{\alpha}^2}$$

Dónde:

n= tamaño de la muestra

N=tamaño de la población = 3004 Und

δ^2 = varianza =1.22

e^2 = límite aceptable de error muestral =0.1

Z_{α} =Estadístico al 95% de confianza =1.96

Que reemplazando los datos nos arroja un tamaño muestral de 484 neumáticos.

4.3.3. Forceado de la medida Todo Terreno 155R14 Sport

Debemos tener en cuenta los conceptos que involucran el forceo de neumáticos definidos por la fórmula:

$$GU\% = \Delta FR\% + \Delta FL\% + \Delta FC\%$$

GU% = Grado de Uniformidad

El “Grado de Uniformidad” permitido para que las llantas de la medida Todo Terreno 155R14 Sport sean consideradas para la venta a ensambladoras de automóviles es de 12%, siendo este el objetivo deseado y óptimo para un rendimiento constante. Como “Grado de Uniformidad” máximo se acepta un 16% ya que las llantas hasta este nivel pueden ser rectificadas manualmente con el uso de lijas y goma líquida. Como “Grado de Uniformidad” mínimo se acepta un 8% ya que las llantas con un grado menor son usadas para el desarrollo de pruebas y la calibración de máquinas de forceo.

$\Delta FR\%$ = Variación de fuerza radial

Esta variación de fuerza es causada por juntas muy pesadas antes y durante el armado del neumático. (Junta pesada de mesa alta, junta pesada de rodado, junta pesada pliego y junta pesada de costado). (Ver figura N°24)

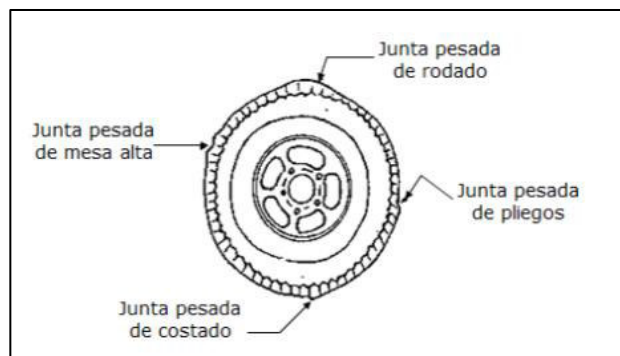


Figura N°24: Causales de variación radial

Fuente: Elaboración propia

El efecto de la variación radial es como si la llanta estuviera desinflada al estar en servicio. (Ver figura N°25)

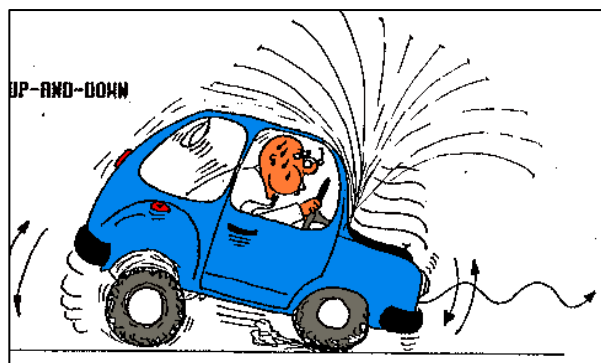


Figura N°25: Efectos de variación radial

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones para la medida en cuestión son las siguientes (Ver Tabla 2):

Nombre del factor	Variable	Mínimo	Máximo
Junta de "Mesa Alta" (hilos)	JM	2	4
Junta de costado (mm)	JC	8	12
Junta de rodado (mm)	JR	10	15
Junta de pliego (hilos)	JP	3	5

Tabla 2: Especificaciones para causales de variación radial

Fuente: Elaboración propia

$\Delta FL\%$ = Variación de fuerza lateral

Esta variación de fuerza es causada por el diámetro incorrecto de absorbedores, escalonado de absorbedores incorrecto, colocación descentrada de absorbedores. (Ver figura N°26)

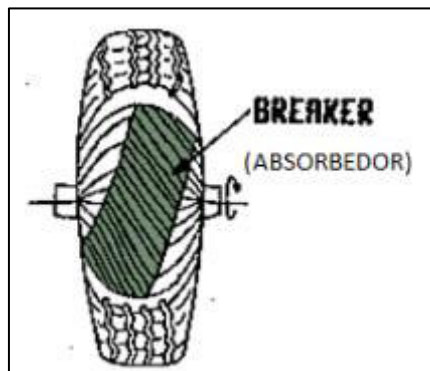


Figura N°26: Causales de variación lateral

Fuente: Elaboración propia

El efecto de la variación lateral es el de vibrar la llanta de lado a lado. (Ver figura N°27)



Figura N°27: Efectos de variación lateral

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones para la medida en cuestión son las siguientes (Ver Tabla3):

Nombre del factor	Variable	Mínimo	Máximo
Diámetro de absorbedores (mm)	DA	998	1002
Escalonado de absorbedores (hilos)	EA	1	3
Colocación de absorbedores (mm)	CA	0	2

Tabla 3: Especificaciones para causales de variación lateral

Fuente: Elaboración propia

$\Delta FC\%$ = Variación de fuerza de conicidad

Esta variación de fuerza es causada por el ancho de rodado incorrecto, descentrado del tambor o de la variación en el diámetro de las pestañas de acero. (Ver figura N°28)

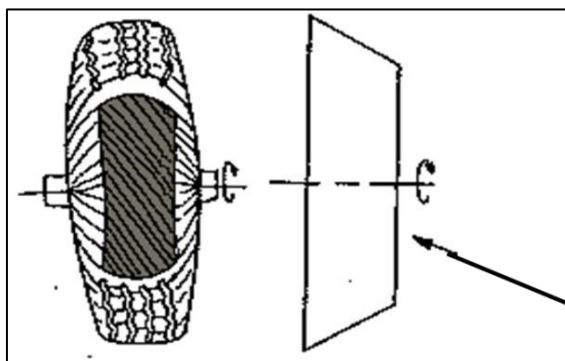


Figura N°28: Causales de variación de conicidad

Fuente: Elaboración propia

El efecto de la conicidad puede ser explicado cuando la llanta es jalada hacia el lado derecho o izquierdo. (Ver figura N°29)

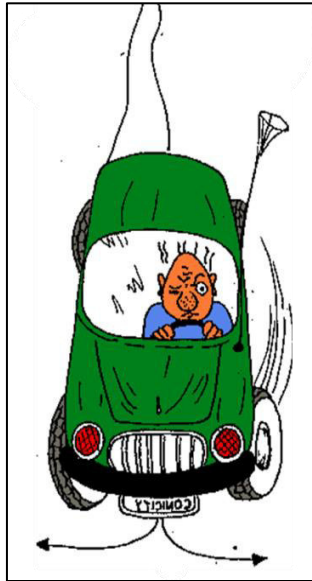


Figura N°29: Efectos de variación de conicidad

Fuente: Elaboración propia

Las especificaciones para la medida en cuestión son las siguientes (Ver Tabla 4):

Nombre del factor	Variable	Mínimo	Máximo
Ancho del rodado (mm)	AR	158	162
Centrado del tambor (mm)	CT	0	2
Diámetro de pestañas (mm)	DP	298	302

Tabla 4: Especificaciones para causales de variación de conicidad

Fuente: Elaboración propia

4.3.4. Recolección de datos

El proceso de recolección se realizó con un promedio de 24 llantas diarias durante 5 días a la semana durante 4 semanas. Se descargaron los datos del servidor los cuales veremos a en la tabla N°5 en el anexo.

4.4. Representar y analizar datos

4.4.1. Prueba de normalidad de Anderson Darling (No paramétrica)

Se llaman datos no paramétricos a las pruebas y modelos estadísticos cuya distribución subyacente no se ajusta a los llamados criterios paramétricos, o sea que su distribución no puede ser definida a priori, pues son los datos observados

los que la determinan. En nuestro caso, las pruebas fueron seleccionadas al azar y no siguen un patrón definido e impuesto.

La prueba de Anderson-Darling es una prueba estadística no paramétrica que permite determinar si una muestra de datos se extrae de una distribución de probabilidad normal. En su forma básica, la prueba asume que no existen parámetros a estimar en la distribución que se está probando, en cuyo caso la prueba y su conjunto de valores críticos siguen una distribución libre.

Sin embargo, la prueba se utiliza con mayor frecuencia en contextos en los que se está probando una familia de distribuciones, en cuyo caso deben ser estimados los parámetros de esa familia y debe tenerse estos en cuenta a la hora de ajustar la prueba estadística y sus valores críticos. Cuando se aplica para probar si una distribución normal describe adecuadamente un conjunto de datos, es una de las herramientas estadísticas más potentes para la detección de la mayoría de las desviaciones de la normalidad.

Para poder dar validez matemática y estadística a nuestros datos, estos serán sometidos a esta prueba usando el software “Minitab 16”. Para esto, haremos uso de una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_1) donde:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Las condiciones para rechazar o aceptar la hipótesis nula se dan de la siguiente manera:

Si el estadístico $p\text{-value} \geq 0.05$ no se rechaza la hipótesis nula y si $p\text{-value} < 0.05$ entonces se rechaza la hipótesis nula.

Aplicando la prueba tenemos la siguiente gráfica de normalidad:

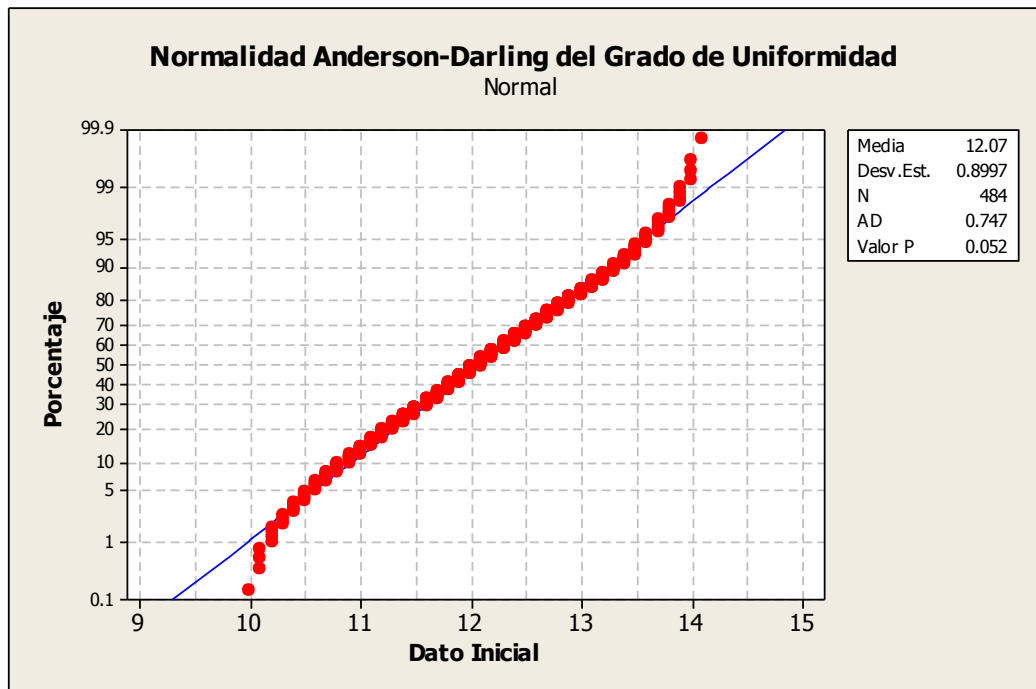


Figura N°30: Normalidad de los datos iniciales

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica (Ver figura N°30) el eje Y nos indica la probabilidad acumulada para cada uno de los datos representados con puntos rojos y que se distinguen en el eje X. La línea azul nos indica la probabilidad acumulada ideal para que una muestra siga una distribución normal. En la caja a la derecha podemos observar:

La media de los datos = 12.07

Desviación estándar = 0.89997

El número de datos = 484

Estadístico AD (Anderson-Darling)=0.747

Valor p = 0.052

Conclusión: Al ser $p > 0.05$ no se rechaza la hipótesis nula, por lo que los datos siguen una distribución normal. Este dato muy importante para poder continuar con el análisis, a continuación veremos cómo se ajustan los datos aun gráfica Gaussiana (Campana de Gauss) en el histograma de Minitab 16. (Ver figura N°31)

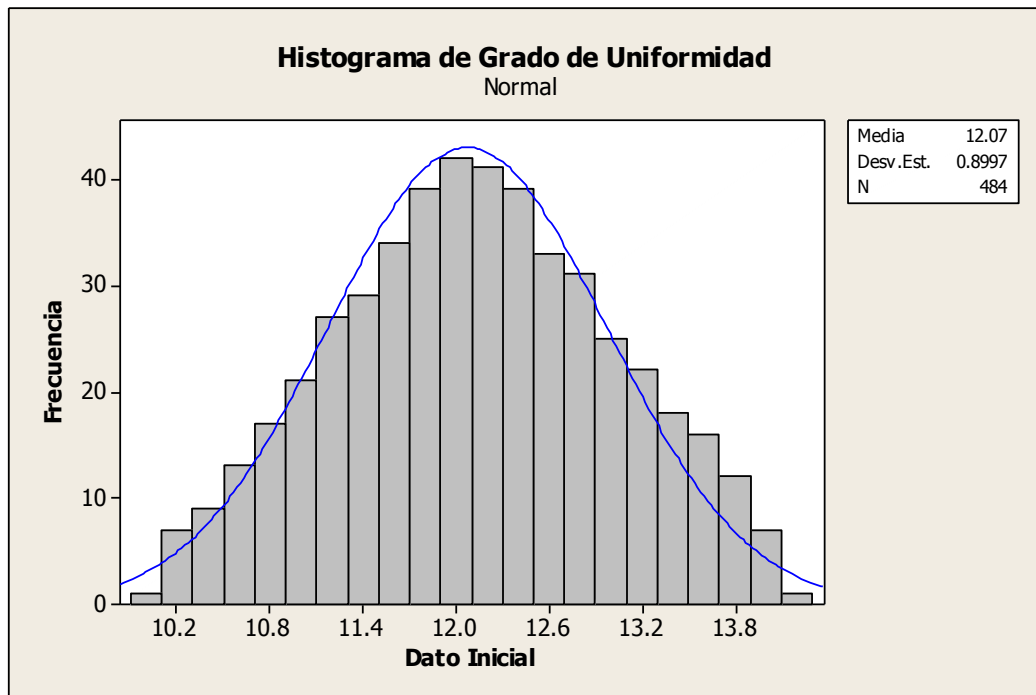


Figura N°31: Histograma de los datos iniciales

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Gráfica de control Xbarra-R para subgrupos

Al ser nuestro sistema uno de inspección diaria en un ambiente controlado y cuya línea de producción no depende de la mano de obra, se recomienda una gráfica de datos agrupada que tomen como tamaño de subgrupo el valor del día de la toma. Los rangos móviles nos permitirán estimar la variabilidad del proceso, siendo el valor absoluto entre dos observaciones consecutivas. Para la construcción de la carta deberemos tener en cuenta las siguientes formulas y variables:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{x}}{N} = \frac{\text{Sumatoria de los promedios de cada subgrupo}}{\text{Número total de subgrupos}} = 12.073$$

$$\overline{MR} = \frac{\sum \bar{r}}{N} = \frac{\text{Sumatoria de los rangos de cada subgrupo}}{\text{Número total de subgrupos}} = 3.211$$

$$s = \frac{\overline{MR}}{d_2}, sr = \frac{d_3 \cdot \overline{MR}}{d_2}$$

Donde:

$$d_2 = 1.128 \text{ (valor de muestra } n = 3.64)$$

$$d_3 = 3.267 \text{ (valor de muestra } n = 0.739)$$

Que obtenemos de la tabla N°6 en el anexo.

Los límites para la gráfica X

$$LCS = \bar{X} + 3 \frac{s}{\sqrt{n}} = 12.7$$

$$LCI = \bar{X} - 3 \frac{s}{\sqrt{n}} = 11.3$$

Los límites para la gráfica R

$$LCS = \overline{MR} + 3. sr = 5.2$$

$$LCI = \overline{MR} - 3. sr = 1.16$$

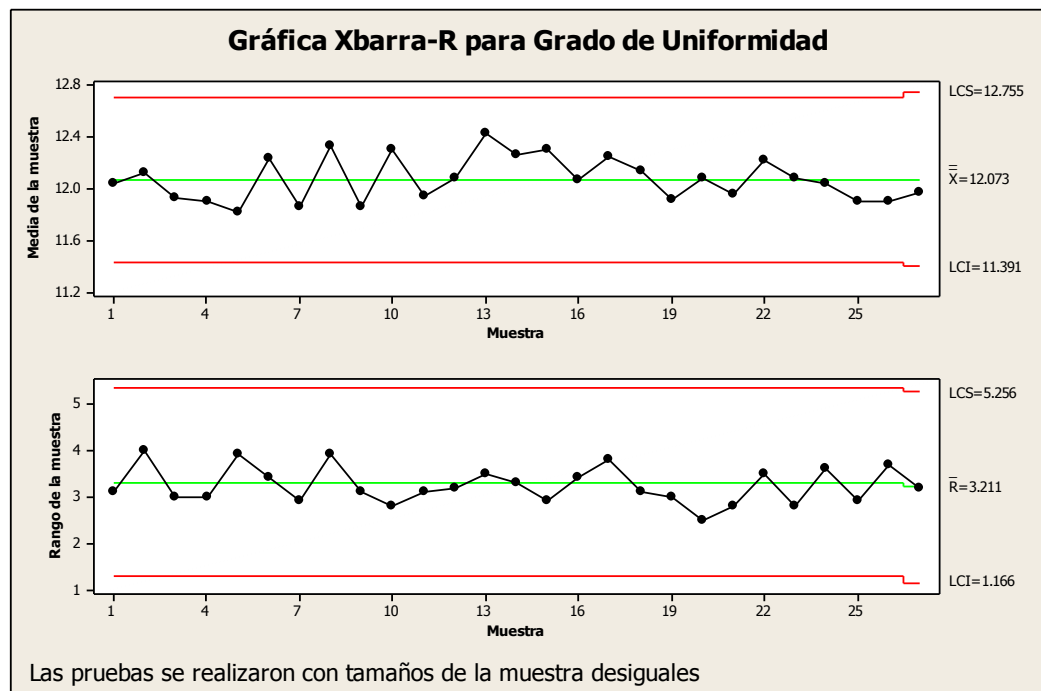


Figura N°32: Gráfica Xbarra-R para grado de uniformidad

Fuente: Elaboración propia

Se observa en el primer gráfico que nuestros datos se encuentran en control lo que es un indicio de que nuestro proceso es estable y se proyecta a poder llegar a niveles de “Seis Sigma”. En la segunda gráfica también observamos esta particularidad, por lo que podemos decir que tenemos un proceso controlado. (Ver figura N°32)

4.4.3. Análisis de capacidad de proceso

A continuación observaremos la gráfica de capacidad del proceso que con la ayuda de Minitab 16 permitirá conocer más a detalle el nivel de Sigma que alcanza nuestro proceso y cuáles son las métricas de corto plazo o “dentro de” y las métricas de largo plazo o “generales”. (Ver figura N°33)

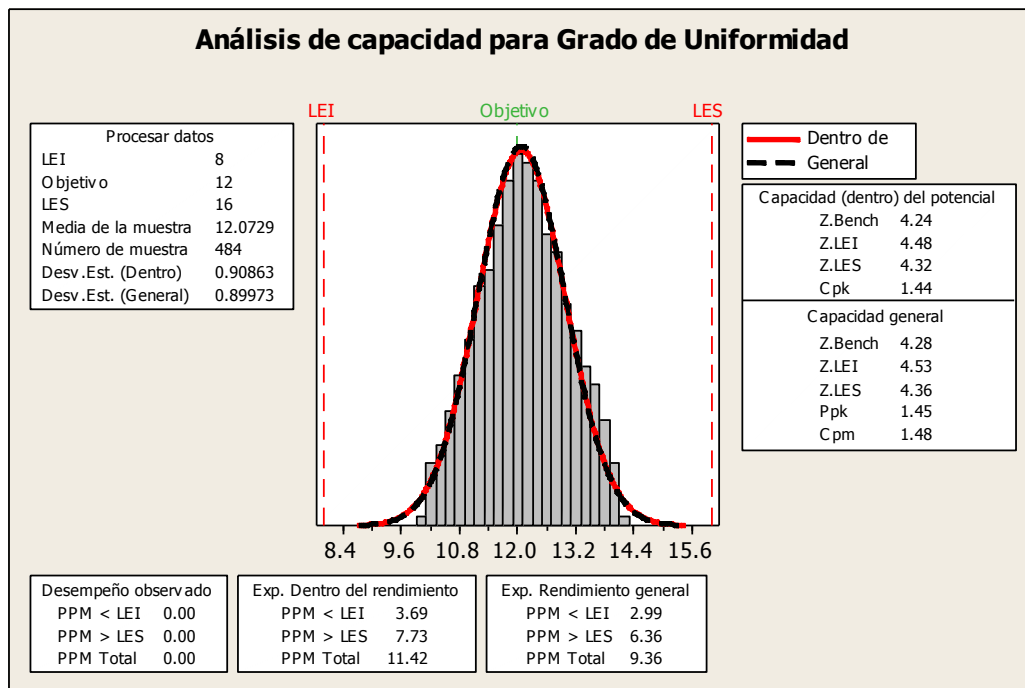


Figura N°33: Gráfica de capacidad para grado de uniformidad

Fuente: Elaboración propia

En el cajetín izquierdo se visualizan los valores:

LEI: Límite especificado inferior =8

Objetivo= 12

LES: Límite especificado superior = 16

Media de la muestra= 12.0729

Número de la muestra= 484

Desv.Est (Dentro): Desviación estándar dentro de los grupos = 0.90863

Esta desviación es calculada en base al promedio ponderado y de las desviaciones estándar de cada subgrupo y el número de datos que conforman cada subgrupo.

Desv.Est (General): Desviación estándar para toda la muestra = 0.89973

Esta desviación es calculada considerando todos los datos como un solo grupo.

A la derecha se puede observar:

La línea roja indica una distribución normal ajustada en base a la desviación estándar dentro de los grupos mientras que la línea punteada de color negro indica una distribución normal ajustada en base a la desviación estándar para toda la muestra.

Para el cajetín de capacidad:

El valor “**Z.Bench**” es el resultado de restar los límites superior e inferior y dividir la resultante entre la desviación estándar dentro de los grupos o de la desviación estándar general. Si lo ubicamos en la tabla de probabilidades (Z-score) nos arrojará el porcentaje de partes correctas (p); para el estudio necesitaremos el valor de partes defectuosas por millón que es el complemento (1-p). Este porcentaje complementario lo multiplicaremos por 1000000 y obtendremos los valores que se observan en el cajetín inferior de “Exp. Dentro del rendimiento y general”.

El valor “**Z.LEI**” es el resultado de restar el valor del **límite inferior** de la media y dividir la resultante entre la desviación estándar dentro de los grupos o de la desviación estándar general. Si lo ubicamos en la tabla Z-score de probabilidades nos arrojará el porcentaje de partes correctas (p); para el estudio necesitaremos el valor de partes defectuosas como **mínimo** debemos tener por millón que es el complemento (1-p). Este porcentaje complementario lo multiplicaremos por 1000000 y obtendremos los valores que se observan en el cajetín inferior de “Exp. Dentro del rendimiento y general”.

El valor “**Z.LES**” es el resultado de restar el valor de la media del **límite superior** y dividir la resultante entre la desviación estándar dentro de los grupos o de la desviación estándar general. Si lo ubicamos en la tabla Z-score de probabilidades nos arrojará el porcentaje de partes correctas (p); para el estudio necesitaremos el valor de partes defectuosas como **máximo** debemos tener por millón que es el complemento (1-p). Este porcentaje complementario lo multiplicaremos por 1000000 y obtendremos los valores que se observan en el cajetín inferior de “Exp. Dentro del rendimiento y general”.

El valor “**Cpk**” es el **mínimo** valor de las capacidades del proceso en base a la desviación estándar potencial. El Cpk asume que el proceso está en un estado de control estadístico y centrado en la media general, que no es necesariamente

el objetivo mientras que el PPK es el mínimo valor de las capacidades del proceso en base a la desviación estándar general. El “**Ppk**” asume que el proceso está centrado en la media general, pero no hace suposiciones sobre el control estadístico.

La “Automotive Industry Action Group” (AIAG) en sus requerimientos de aprobación de partes de producción, Production Part Approval Process (PPAP), exige un $Cpk > 1.67$ cuando se hace un análisis preliminar, antes de la puesta en producción. En condiciones operativas, se requiere $Cpk > 1.33$, es por eso que se necesita que nuestro CPk tenga como mínimo ese valor para que pueda considerarse este como un proyecto Six Sigma.

En conclusión, podemos continuar con nuestro proyecto puesto que nuestra capacidad de proceso potencial es de 1.44 y se perfila como un proceso Six Sigma con un Z-score de 4.24 y 11.42 partes defectuosas por millón.

Determinar objetivos y metas

General (ZLT)= Nivel de funcionamiento estimado o real del proceso, basado en la capacidad general del proceso.

Capacidad (ZST)= Nivel de funcionamiento estimado o real del proceso, basado en la capacidad general del proceso.

Elegido (ZEnt) = Definir el mejor proceso existente que se puede hacer (Este funcionamiento puede ser intermitente y por períodos de tiempo muy cortos)

Meta (ZGoal) = El nivel en el cual el proceso necesita realizarse, según sea el caso

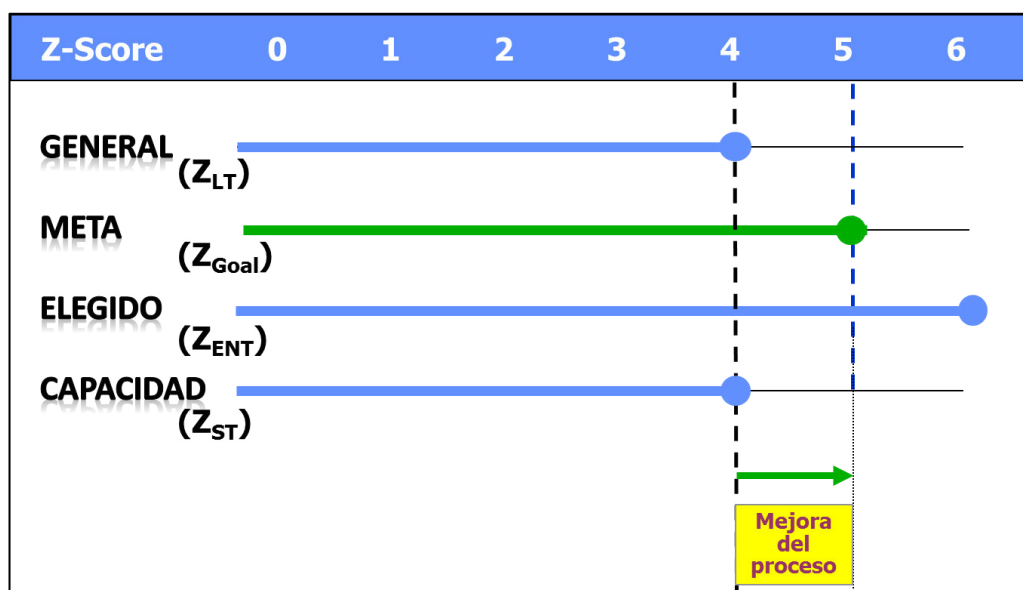


Figura N°34: Gráfica de capacidad para grado de uniformidad

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar (Ver figura N°34) en el diagrama, nuestro proyecto tiene como proceso elegido llegar a un Z score de 6 y tiene como meta para la mejora de proceso llegar a un valor de 5 de Z score.

5.1. Análisis de correlación entre variables

A continuación analizaremos cual de la variables mencionadas anteriormente (FR, FL, FC) guarda relación con el grado de uniformidad, para esto haremos uso del coeficiente de correlación de Pearson. El valor del índice de correlación varía en el intervalo $[-1,1]$:

Si $r = 1$ ó $r > 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva mínima que se reduce a medida que se acerca a cero.

Si $r = 0$, no existe relación lineal.

Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa mínima que se reduce a medida que se acerca a cero.

Si $r = -1$ ó $r < -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

El software Minitab 16 nos ayudará a realizar el cálculo y nos dará de resultado:



GU	FR	FL	FC
FR	0.865		
FL	0.240	-0.111	
FC	0.204	-0.143	-0.092

Contenido de la celda: Correlación de Pearson

Figura N°35: Resultados – Correlaciones de variables

Fuente: Elaboración propia

Por lo que podemos determinar que la variable FR (Variación de Fuerza Radial) es la que tiene mayor correlación con la variable GU (Grado de Uniformidad) al ser el coeficiente de Pearson igual a 0.865 existiendo una gran correlación positiva. (Ver figura N°35)

5.1.1. Diseño de experimentos para la variable elegida.

En el capítulo IV, al definir los conceptos de variación de fuerza radial detallamos los factores que guardan relación directa con este valor y con los que necesitamos experimentar para poder encontrar una combinación ideal de variables y revisar luego los planes de acción a tomar.

Haremos para esto un DOE (Design of Experiments) de tipo factorial completo (2^k) para un número $k=4$ de variables según podemos observar en este cuadro (Ver Tabla 7):

Especificación\Factor	Junta de "Mesa Alta" (hilos)	Junta de costado (mm)	Junta de rodado (mm)	Junta de pliego (hilos)
Inferior	2	8	10	3
Superior	4	12	15	5

Tabla 7: Especificaciones para causales de variación principal

Fuente: Elaboración propia

Con el uso de la herramienta Minitab 16, crearemos nuestro diseño factorial completo, quedando la información tabulada de la siguiente manera (Ver tabla 8):

JM	JC	JR	JP
2	8	10	3
4	8	10	3
2	12	10	3
4	12	10	3
2	8	15	3
4	8	15	3
2	12	15	3
4	12	15	3
2	8	10	5
4	8	10	5
2	12	10	5
4	12	10	5
2	8	15	5
4	8	15	5

2	12	15	5
4	12	15	5

Tabla 8: Diseño factorial

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar se tienen $2^4=16$ corridas, las cuales están ordenadas y nos permitirán realizar nuestros experimentos obteniendo el Grado de Uniformidad resultante. Procedemos a preparar nuestras muestras con materiales óptimos y maquinas calibradas. Obtendremos la siguiente información de las máquinas de forceo (Ver Tabla 9):

JM	JC	JR	JP	Grado de Uniformidad
2	8	10	3	11.9
4	8	10	3	11
2	12	10	3	13.7
4	12	10	3	11.8
2	8	15	3	11
4	8	15	3	11.8
2	12	15	3	11.3
4	12	15	3	13.2
2	8	10	5	12.7
4	8	10	5	12.5
2	12	10	5	12.6
4	12	10	5	11.2
2	8	15	5	14
4	8	15	5	12.3
2	12	15	5	10.2
4	12	15	5	12.5

Tabla 9: Resultados del experimento

Fuente: Elaboración propia

Dentro de Minitab 16, encontraremos la herramienta de análisis, la cual nos arrojará cual o cuales de los factores evaluados, así como sus combinaciones, tienen mayor efecto para el grado de uniformidad. (Ver figura N°36)

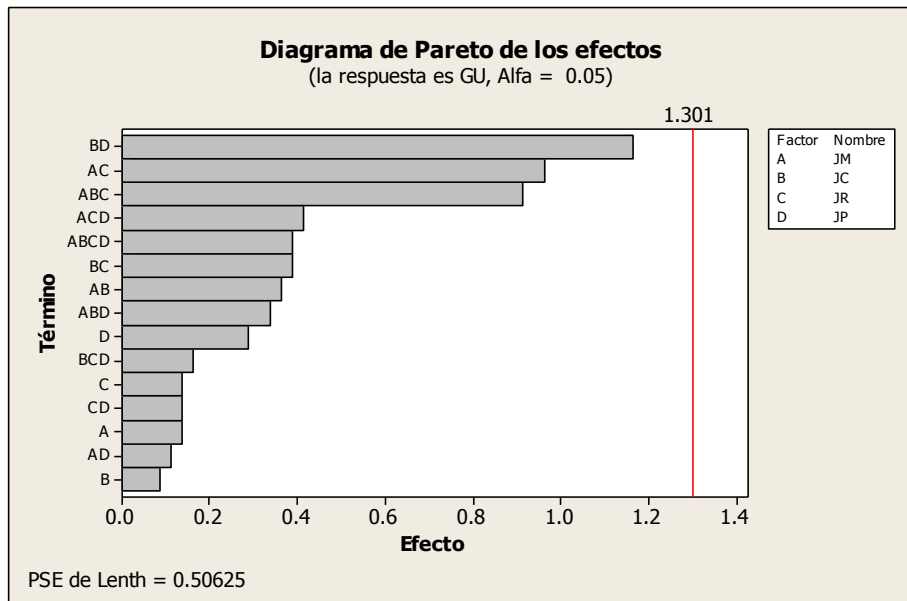


Figura N°36: Diagrama de Pareto de los efectos

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar la combinación de JC y JP (Junta de costado y junta de pliego) actuando en conjunto tienen un gran efecto en el grado de uniformidad para un porcentaje de error de 5%. Esta información la tendremos en cuenta más adelante cuando tengamos que tomar decisión sobre cuales variables modificar. Haremos uso del optimizador de pruebas que nos permite saber cuál es la combinación más óptima para predecir un valor ideal de 12 con una deseabilidad cercada a 100%. (Ver figura N°37)

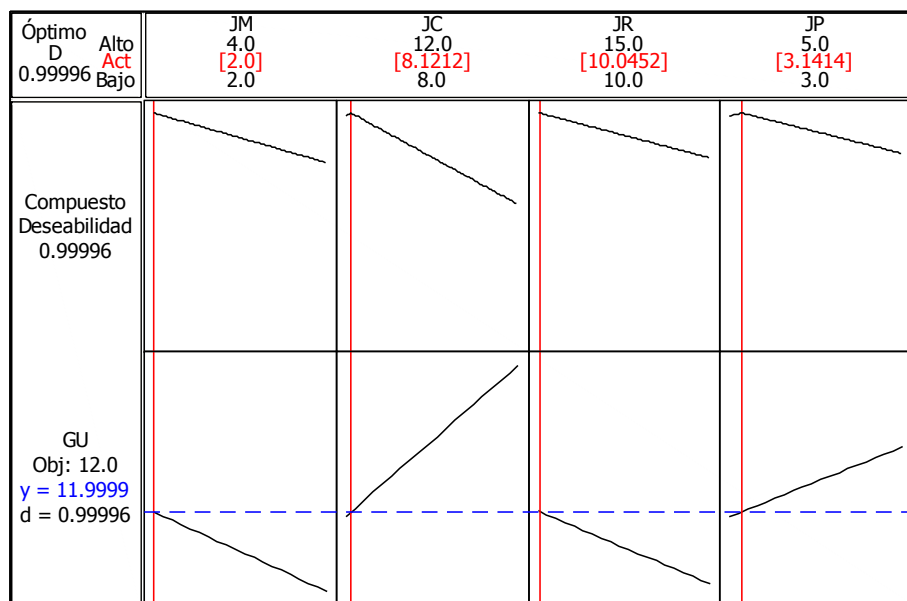
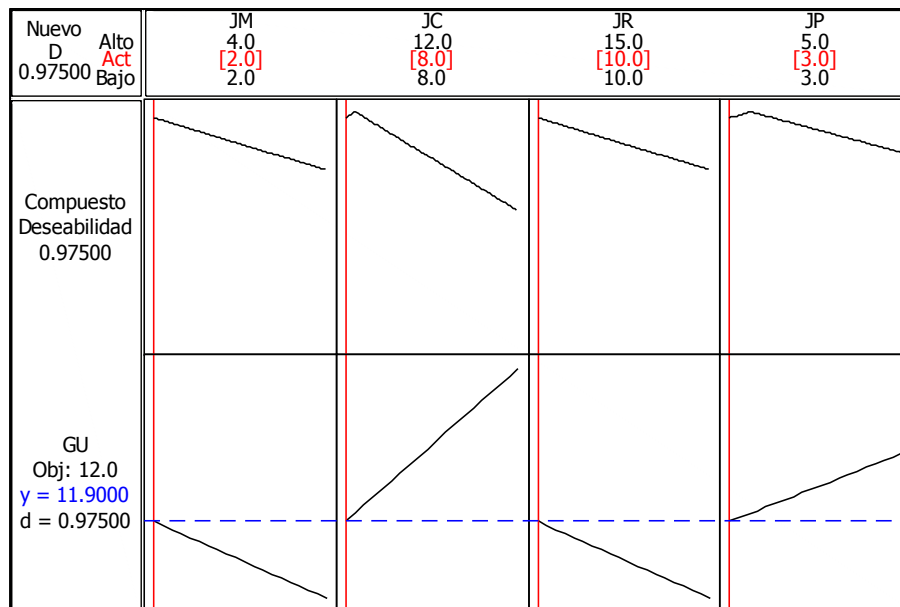


Figura N°37: Optimizador de pruebas – Estado óptimo

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los valores que toman las variables no arroja un porcentaje de deseabilidad de 0.99 por que podríamos decir que este es el escenario bajo el cual llegaríamos al objetivo aunque cabe resaltar que estos valores son poco aplicables a la realidad puesto que las unidades representadas deben ser número enteros ya que están en su unidad mínima. Es por eso que se procede a modificar los valores de las variables en el optimizador aproximándolas al valor entero más cercano y tendremos lo siguiente:



Figura

N°38: Optimizador de pruebas – Estado real

Fuente: Elaboración propia

Por lo que estas serían las combinaciones de los factores que debemos utilizar para llegar al objetivo planteado: 12% en Grado de Uniformidad. Con esta combinación nos acercamos al 11.9% con una deseabilidad de 0.98. (Ver figura N°38)

Podemos recalcar además que para tener un grado de uniformidad de 12% las especificaciones de los factores deberían ser suficientes ,por lo que podríamos plantear dos hipótesis:

La primera es que dado que la combinación con valores mínimos es la optima se puede deducir que los sistemas de regulación de medidas nos están arrojando valores que no concuerdan con las especificaciones ingresadas esto quiere decir que pese a que se trabaja siguiendo las especificaciones, los datos al final de la línea no son los correctos. La segunda hipótesis es que las especificaciones necesitan ser revisadas y cambiadas, esta sería la última opción por lo comenzaremos por la hipótesis anterior. Para la primera hipótesis desarrollaremos una “Matriz de Causa Efecto” que nos permitirá ubicar los

puntos claves que debemos mejorar para más adelante proponer los planes de acción.

5.2. Análisis de Causa Efecto

Se tendrán en cuenta los siguientes factores : mediciones, material, personal ,entorno ,métodos y máquinas. Cada uno de estos factores responderán a la pregunta : ¿Por qué los valores resultantes son distintos a las especificaciones ingresadas? (Ver figura N°39 en el anexo)

Todas estas causas nos darán las pautas a seguir en nuestros planes de acción. Para poder formular estos planes , ubicaremos estos datos en la matriz AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla).

5.3. Análisis del Modo y Efecto de la Falla

A continuación procedemos a elaborar la matriz de AMEF (Ver Tabla 11) en la cual hemos consignamos las causas representadas en la “Matriz de Causa Efecto” .

Los factores que se utilizan para cuantificar las fallas y sus causas son 3, la severidad, la ocurrencia y la detección. Estos factores se califican con los siguientes valores (Ver Tabla 10):

Severidad		Ocurrencia		Detección	
Muy alta	7	Sucede siempre	5	Cuando el problema es evidente	3
Alta	6	Bastante común	4	Cuando hay mantenimiento programado	2
Medio alto	5	Usualmente ocurre	3	Rutinariamente	1
Media	4	Poco común	2		
Medio bajo	3	Nunca sucede	1		
Baja	2				
Muy baja	1				

Tabla 10: Valores de calificación de factores

Fuente: Elaboración propia

A continuación hemos aislado las etapas y causas de las fallas para poder ordenarlas en base al “Número prioritario de riesgo” (NPR), esto nos permitirá saber el orden de los problemas a los que nos enfrentamos desde el más grave hasta más leve y concretar los planes de acción para la solución de las causas más relevantes (Ver Tabla 12).

Etapas del proceso	Causa potencial de la falla	NPR
Extrusión de costados	Panel de control de velocidades sin visibilidad	105
Enrollado de pliegos	Temperatura ambiente no adecuada para almacenamiento del producto en	90
Enrollado de pliegos	Falta de personal en el área	75
Extrusión de costados	Uso de materia prima no adecuada	72
Extrusión de costados	Termostatos inoperativos	60
Extrusión de costados	Personal no capacitado	60
Enrollado de pliegos	Materia prima defectuosa	54
Extrusión de costados	Especificaciones no se encuentran en el puesto de trabajo	50
Enrollado de pliegos	Termostatos inoperativos	48
Extrusión de costados	Falta de personal en el área	45
Enrollado de pliegos	Personal no capacitado	45
Enrollado de pliegos	Panel de control de velocidades sin visibilidad	42
Extrusión de costados	Temperatura ambiente no adecuada para almacenamiento del producto en	36
Enrollado de pliegos	Uso de materia prima no adecuada	36
Extrusión de costados	Impacto sonoro de otras áreas no permite oír las alarmas	30
Extrusión de costados	Cinta métrica borrosa	28
Enrollado de pliegos	Procedimientos actualizados	25
Extrusión de costados	Velocímetros no calibrados	24
Enrollado de pliegos	Cinta métrica borrosa	21
Enrollado de pliegos	Especificaciones no se encuentran en el puesto de trabajo	20
Extrusión de costados	Materia prima defectuosa	18
Enrollado de pliegos	Impacto sonoro de otras áreas no permite oír las alarmas	15
Enrollado de pliegos	Velocímetros no calibrados	12
Extrusión de costados	Procedimientos actualizados	5

Tabla 12: Causas potenciales principales
Fuente: Elaboración propia

5.4. Planes para la mejora del proceso

Lo siguiente será priorizar y asignar las soluciones a cada uno de los problemas encontrados, en el orden que indica el promedio ponderado. Asignaremos fechas en el mes de Mayo, mes en el que se llevará a cabo la etapa de mejora. También asignaremos los recursos necesarios para cada plan (Ver Tabla 13 en el anexo).

CAPÍTULO VI: CONTROLAR

6.1. Control estadístico de resultados

6.1.1. Datos

El proceso de recolección se realizó luego de implementar la mejora de procesos con el mismo tamaño muestral con el que tomamos la primera muestra. Se descargaron los datos del servidor los cuales veremos a continuación.

6.1.2. Prueba de Normalidad de datos

Para poder dar validez matemática y estadística a nuestros datos, estos serán sometidos a esta prueba usando el software “Minitab versión 16”. Para esto, haremos uso de una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_1) donde:

H_0 : Los datos siguen una distribución normal

H_1 : Los datos no siguen una distribución normal

Las condiciones para rechazar o aceptar la hipótesis nula se dan de la siguiente manera:

Si el estadístico p-value ≥ 0.05 no se rechaza la hipótesis nula y si p-value < 0.05 entonces se rechaza la hipótesis nula.

Aplicando la prueba tenemos la siguiente gráfica de normalidad:

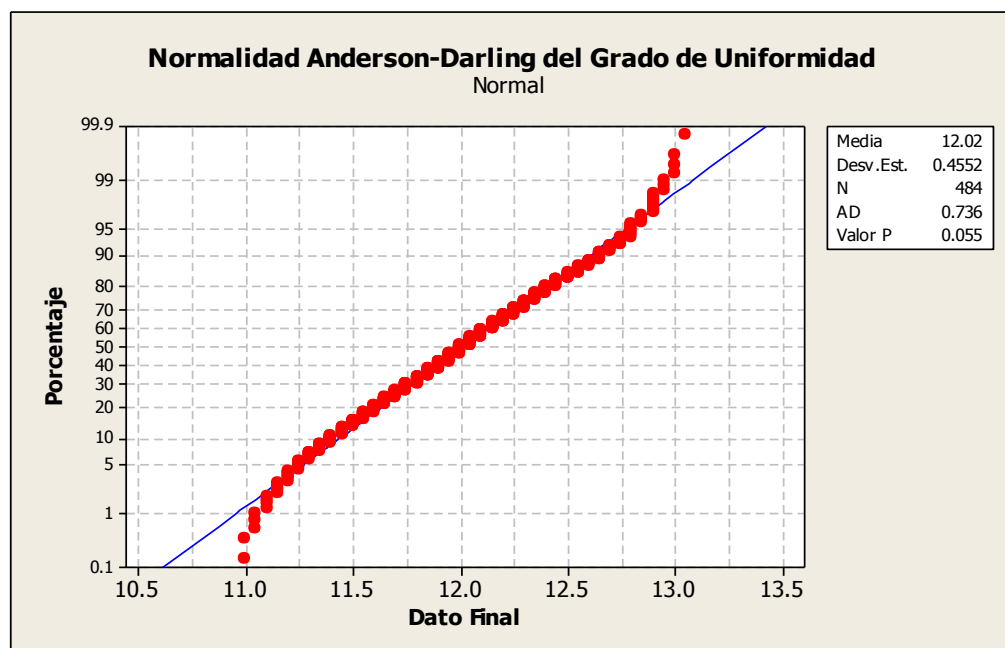


Figura N°40: Prueba de normalidad de datos finales

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: Al ser $p > 0.05$ no se rechaza la hipótesis nula, por lo que los datos siguen una distribución normal. Este dato muy importante para poder continuar con el análisis, a continuación veremos cómo se ajustan los datos a una gráfica Gaussiana (Campana de Gauss) en el histograma de Minitab 16. (Ver figura N°40 y N°41)

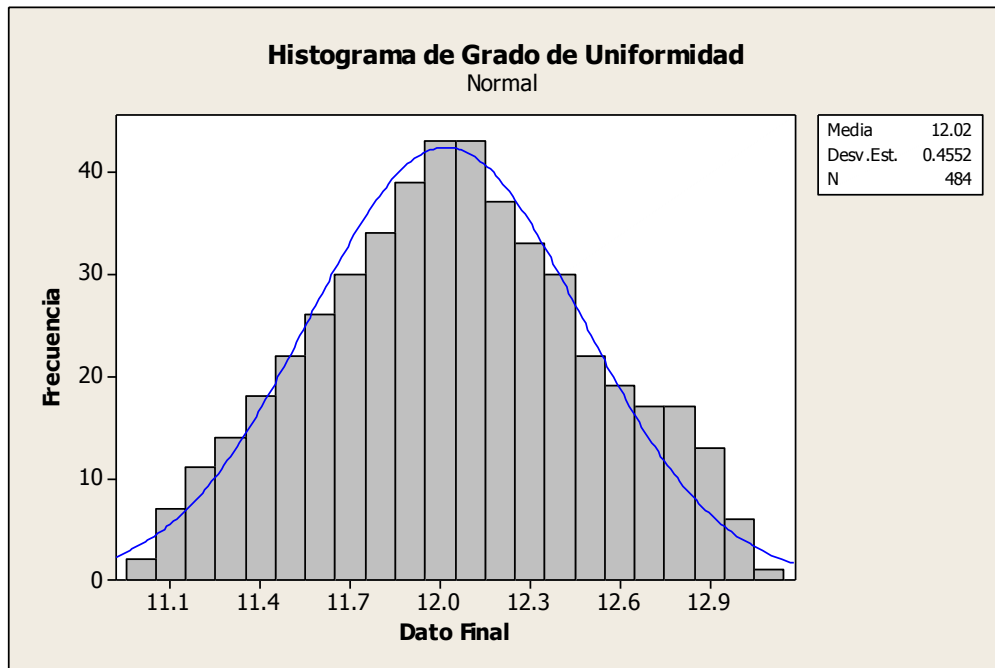


Figura N°41: Histograma de datos finales

Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Gráfica de control Xbarra-R para subgrupos

A continuación representaremos los datos recogidos luego de la mejora de los procesos en una carta de control de promedio de subgrupos y rangos.

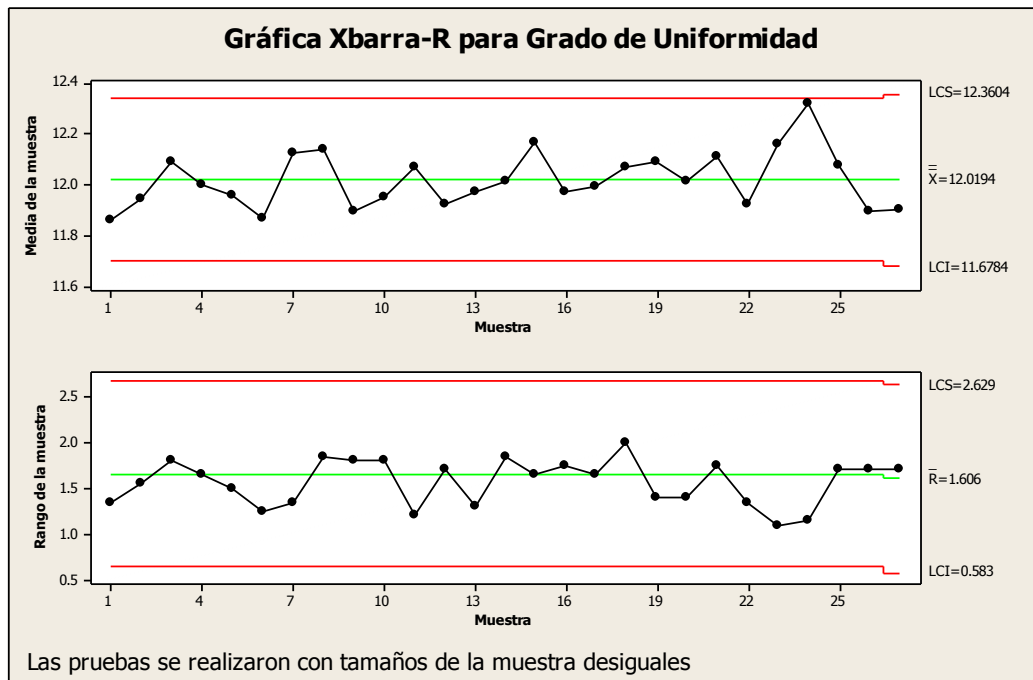


Figura N°42: Grafica Xbarra-R de datos finales

Fuente: Elaboración propia

Se observa en el primer gráfico que nuestros datos se encuentran en control lo que es un indicio de que nuestro proceso es estable y se proyecta a poder llegar a niveles de “Seis Sigma”. En la segunda gráfica también observamos esta particularidad, por lo que podemos decir que tenemos un proceso controlado. (Ver figura N°42)

6.2. Análisis de capacidad de procesos

Debemos conocer si nuestro proceso ha llegado a cumplir la meta trazada de Z_{general} mayor o igual a 5. Para esto aplicaremos nuevamente el análisis de capacidad de procesos de Minitab16.

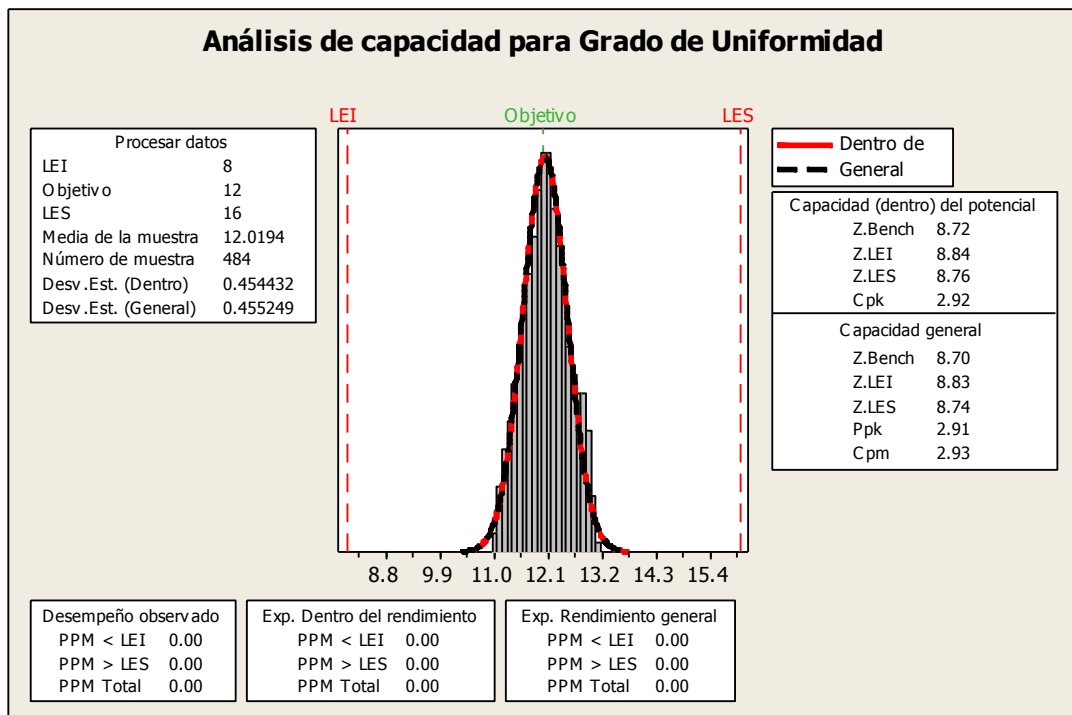


Figura N°43: Análisis de capacidad para datos finales

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar claramente que los datos ahora se acercan mucho más al valor objetivo. El valor Z_{bench} general es ahora 8.70, con esto nuestro proceso se encuentra en un nivel de 6 Sigma y podremos enfocarnos en mantener este nivel de uniformidad diseñando planes de acción siguiendo esta misma metodología. (Ver figura N°43)

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.Conclusiones

- 1) Respecto al objetivo general: La aplicación de la metodología Six Sigma ha mejorado la uniformidad del producto final evidenciándose en la mejora del valor Cpk que en un principio era 1.44 y ahora es 2.92. Esta mejora sustancial hace que nuestro mercado colocado en las fábricas ensambladoras al menos duplique el monto a facturarse en ventas, sobre todo en la medida “Todo Terreno 155R14 Sport” que sirve de ejemplo para que otras medidas también sean beneficiadas con el “Know How” adquirido.
- 2) Respecto a los objetivos específicos:
 - a. Se logró optimizar la variación de fuerzas que impactan a la uniformidad aislando la que impacta con mayor grado de correlación 86.5%, pudiendo reconocer que la variación de fuerza radial es la que más se debe estudiar y controlar.
 - b. Se consiguió obtener la combinación de valores para las variables que afectan la variación de fuerza radial mediante el diseño de experimentos, el cual nos permitió generar los planes de acción que permitirán la constancia de los resultados. Estos planes fueron ejecutados por el equipo involucrado y logró que se cumpla con el objetivo específico y general.

7.2.Recomendaciones

- 1) Hoy en día la información teórica encontrada en la web es diversa y extensa, por lo que se recomienda respecto a esto es que el lector se concentre en los aportes más recientes y actualizados para estar a la vanguardia en el uso de software estadístico y casos prácticos de éxito en empresas reales.
- 2) El tamaño de la muestra que obtengamos de nuestra población de datos debe ser recogido dentro del menor tiempo posible puesto que los factores externos

incluso a la misma empresa, como son los proveedores o clientes pueden afectar las condiciones para la obtención de data. La aplicación de Six Sigma debe ser implementada luego de tener un proceso estandarizado y que haya seguido metodologías como 5 S's, Lean Manufacturing u otras ya que el objetivo es muy alto respecto a los estándares de calidad que comúnmente encontramos en empresas peruanas.

- 3) Es por eso que es importante optimizar recursos a la hora de enrumbar cualquier estrategia de mejora continua. La aplicación de Six Sigma implica tener personal calificado y de preferencia certificado por lo que implementarlo sin contar con este requisito básico sería un mal uso de los recursos de la empresa.
- 4) La metodología Six Sigma, permite hacer uso de diversas herramientas estadísticas aprendidas a lo largo de la carrera y de la experiencia profesional adquirida. No tiene pasos exactos a seguir pero si un esquema ordenado y sencillo que junto a los complejo y detallado de la estadística aplicada nos permite entender, a cualquier nivel, el proceso de mejora o de solución de oportunidades dentro de cualquier empresa o línea de negocio.
- 5) El conocimiento de herramientas estadísticas necesarias para implementar Six Sigma implica que al menos una persona del equipo esté certificada en la metodología y sea esta quién lidere los proyectos capacitando a la vez a futuros líderes. Los proyectos realmente sólidos y que perduran en el tiempo, siempre cuentan con la estructura superior completa (Sponsor, Champion, Black Belt) y es importante que la alta dirección esté totalmente convencida de la importancia y la necesidad de seguir esta metodología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Córdova M., 2013, “Estadística Descriptiva e inferencial”, Quinta edición, editorial MOSHERA SRL.
- Fernández M., 2014, “Lean Manufacturing”, Edición digital, editorial Imagen.
- Gitlow H. & Levine D., 2004, “Six Sigma for Green Belt and Champions”, Paperback edition, editorial FT Press.
- Imai M., 2014, “Gemba Kaizen”, Segunda edición, editorial Interamericana de España SL.
- Prado J., 2000, “El proceso de Mejora continua”, Edición ilustrada, editorial Pirámide.
- www.cursos6sigma.com , “Test de Normalidad – Anderson Darling”, 10 de Agosto del 2016
- www.esixsigma.org , “What is Six Sigma?”, 15 de Julio del 2016

ANEXOS

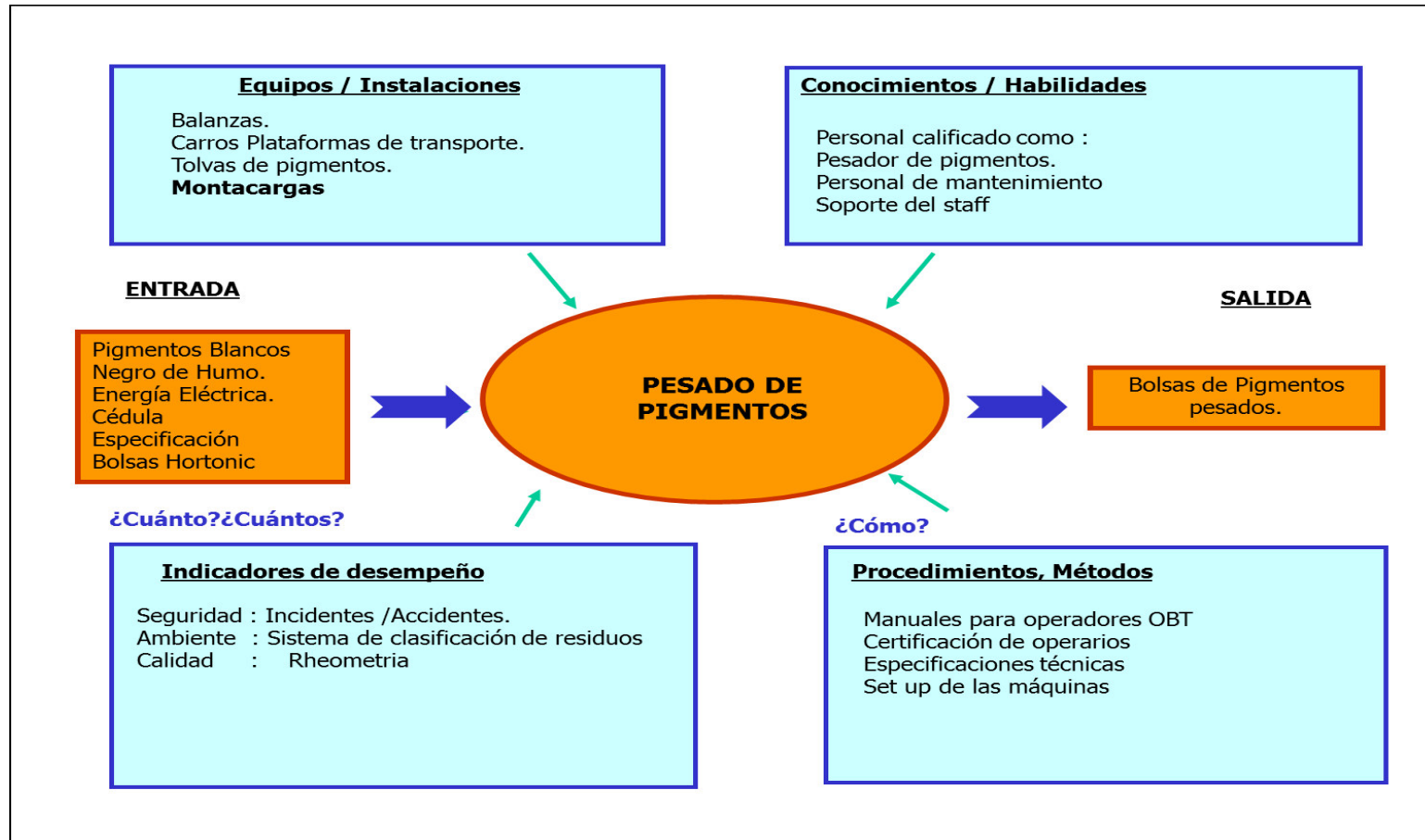


Figura N°8: Pesado de pigmentos

Fuente: Elaboración propia

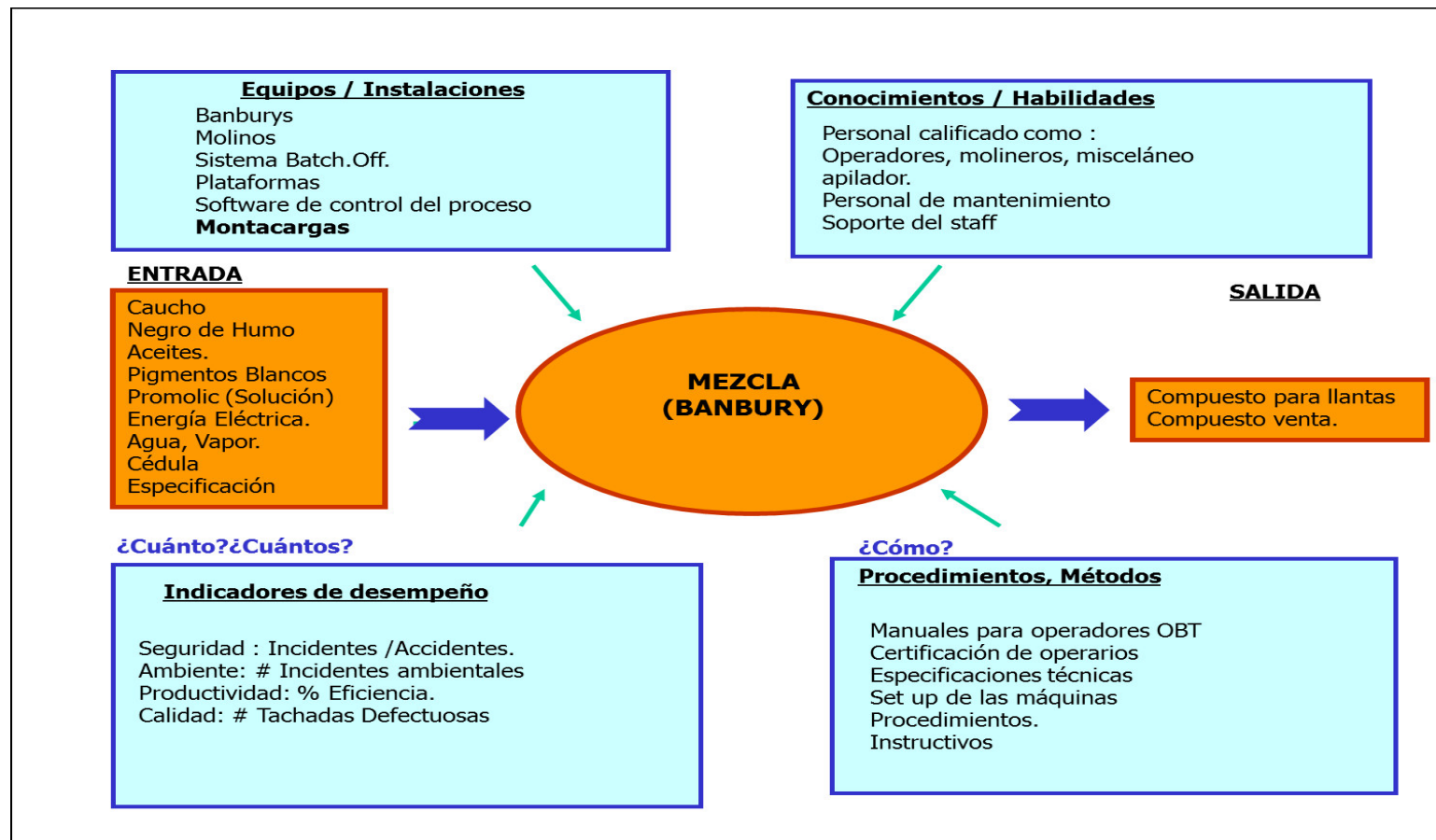


Figura N°9: Mezclado de gomas

Fuente: Elaboración propia

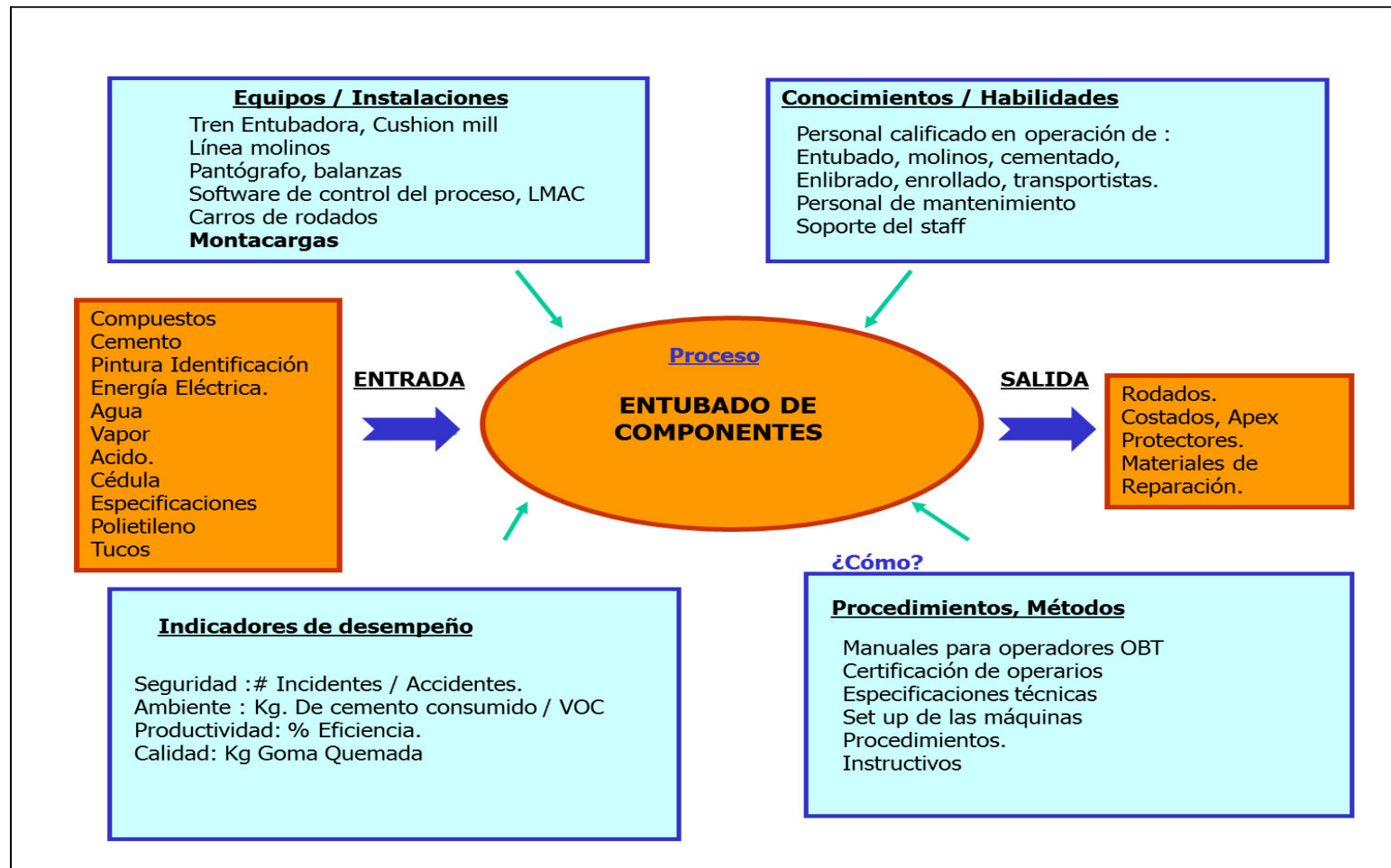


Figura N°10: Entubado de componentes

Fuente: Elaboración propia

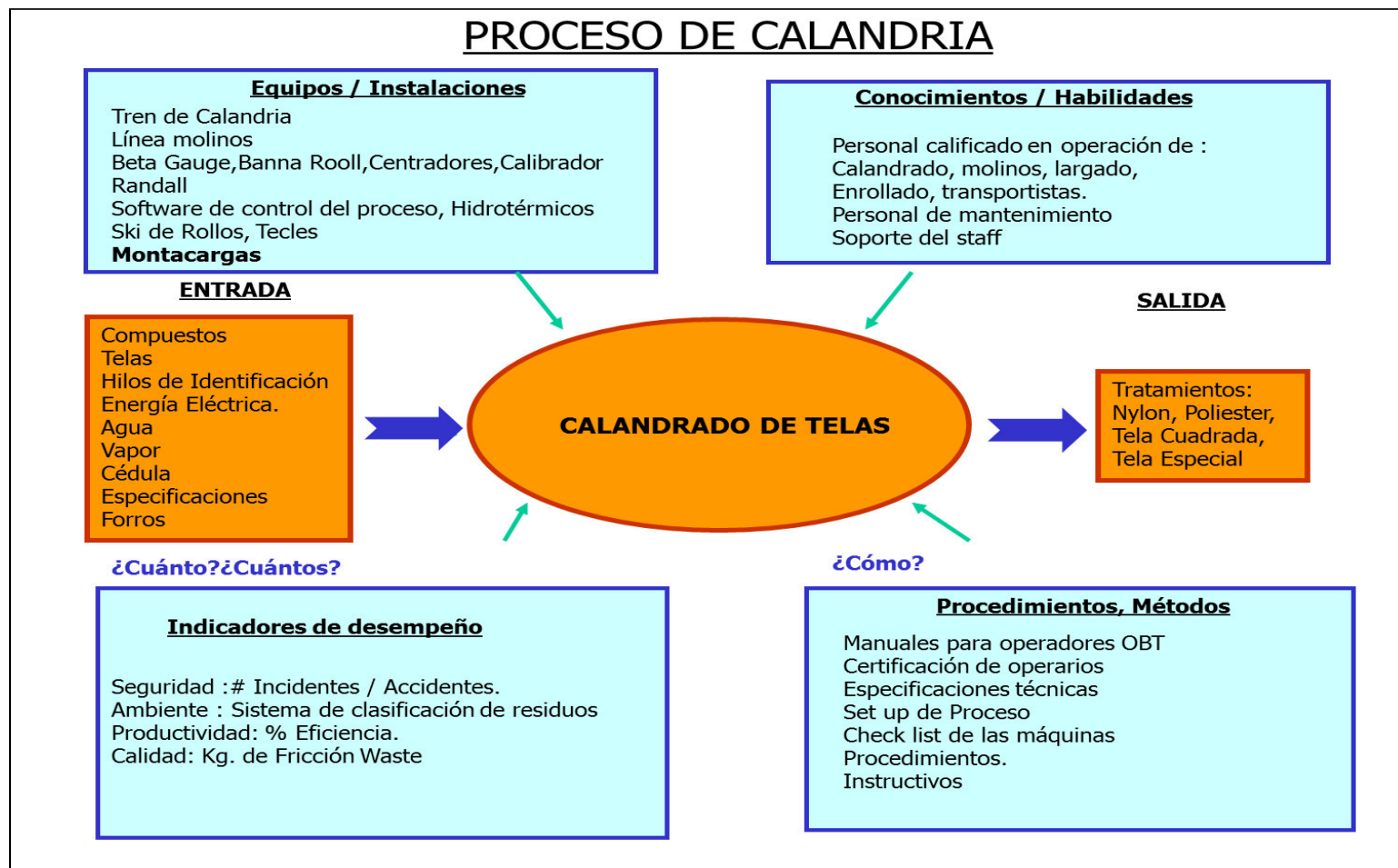


Figura N°11: Calandrado de telas

Fuente: Elaboración propia



Figura N°12: Calandrado de gomas

Fuente: Elaboración propia



Figura N°13: Conformación de pestañas

Fuente: Elaboración propia

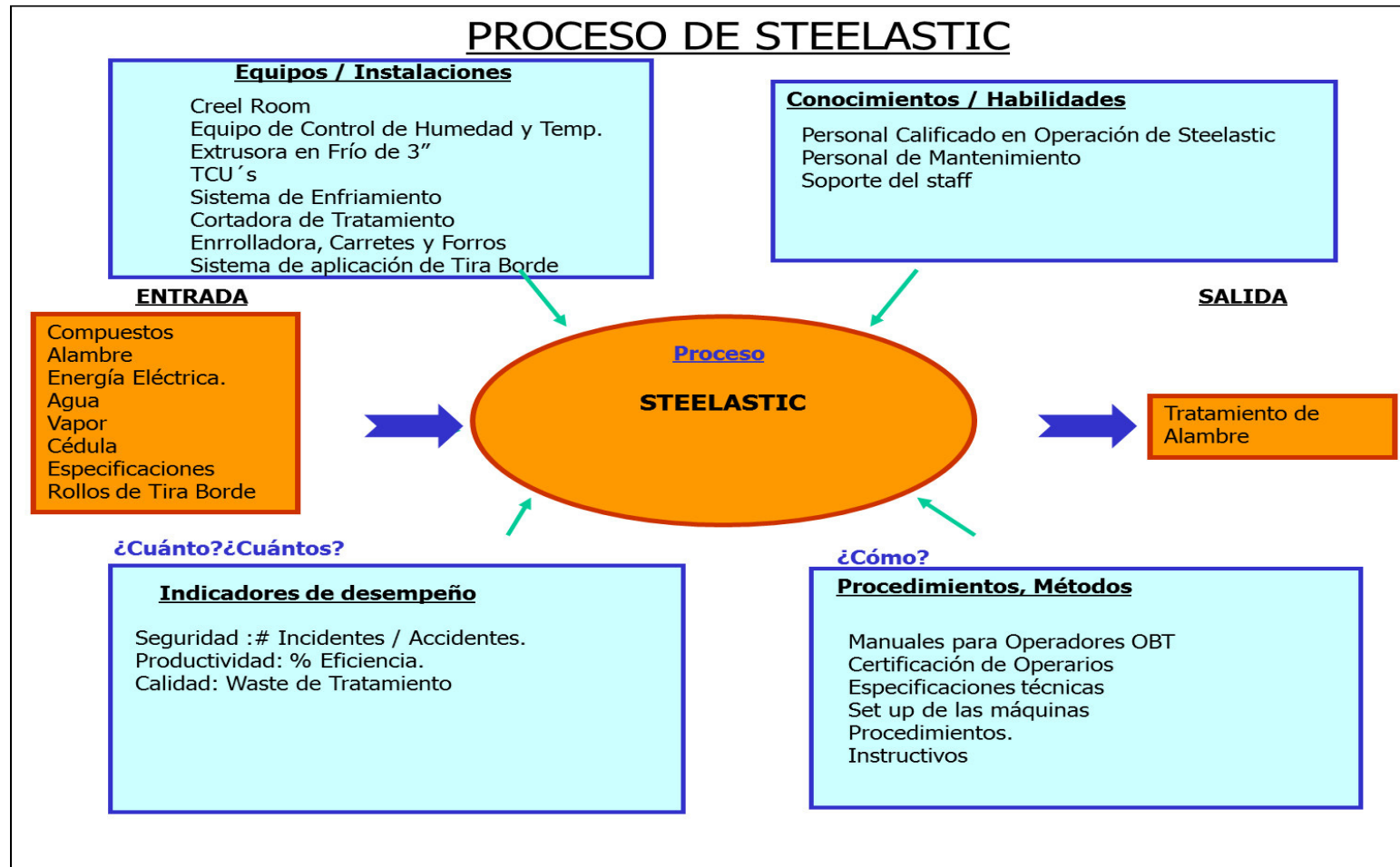


Figura N°14: Proceso de Steelastic

Fuente: Elaboración propia



Figura N°15: Proceso de construcción de absorbedores

Fuente: Elaboración propia

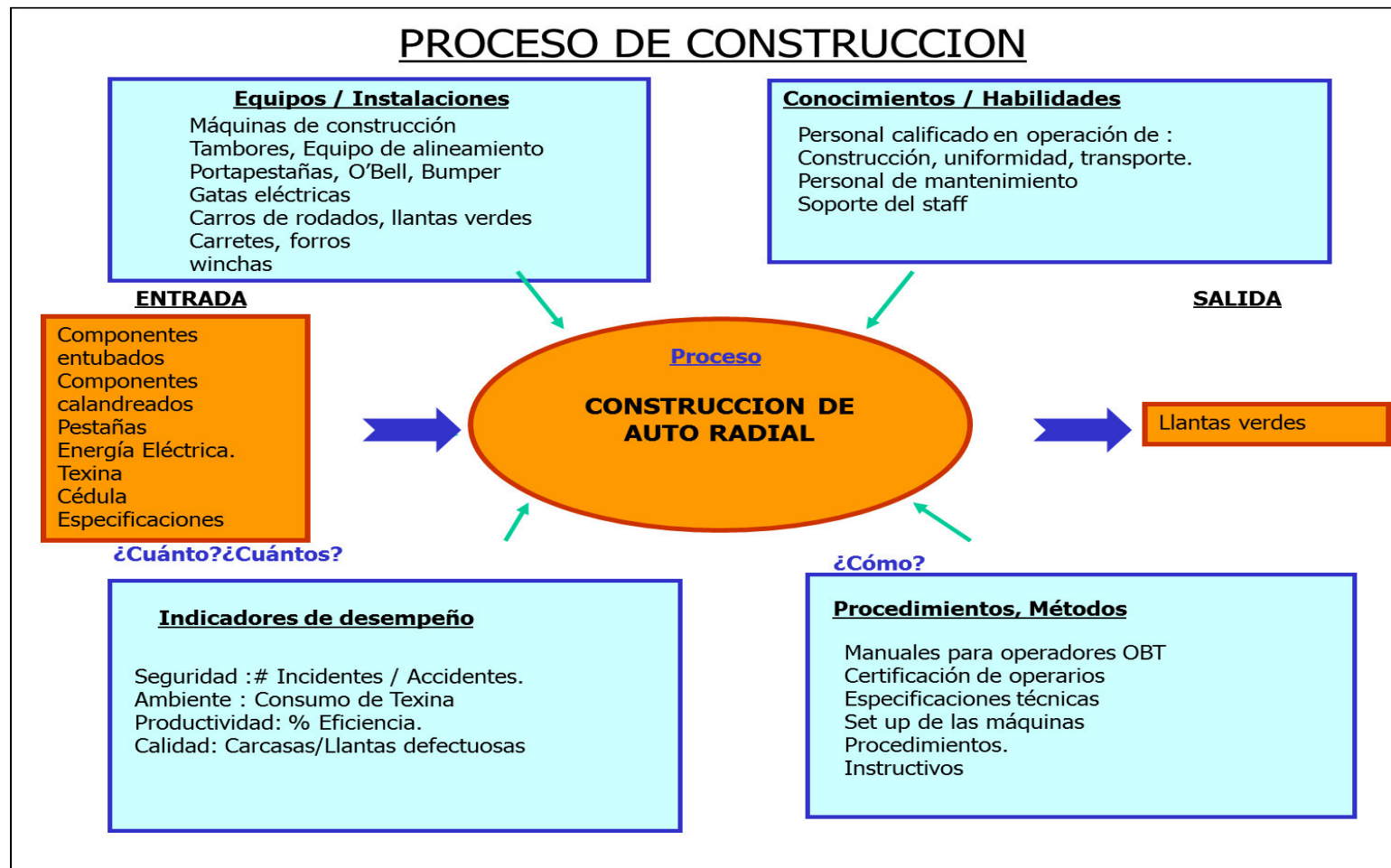


Figura N°16: Proceso de construcción

Fuente: Elaboración propia



Figura N°17: Proceso de pintado de llantas

Fuente: Elaboración propia

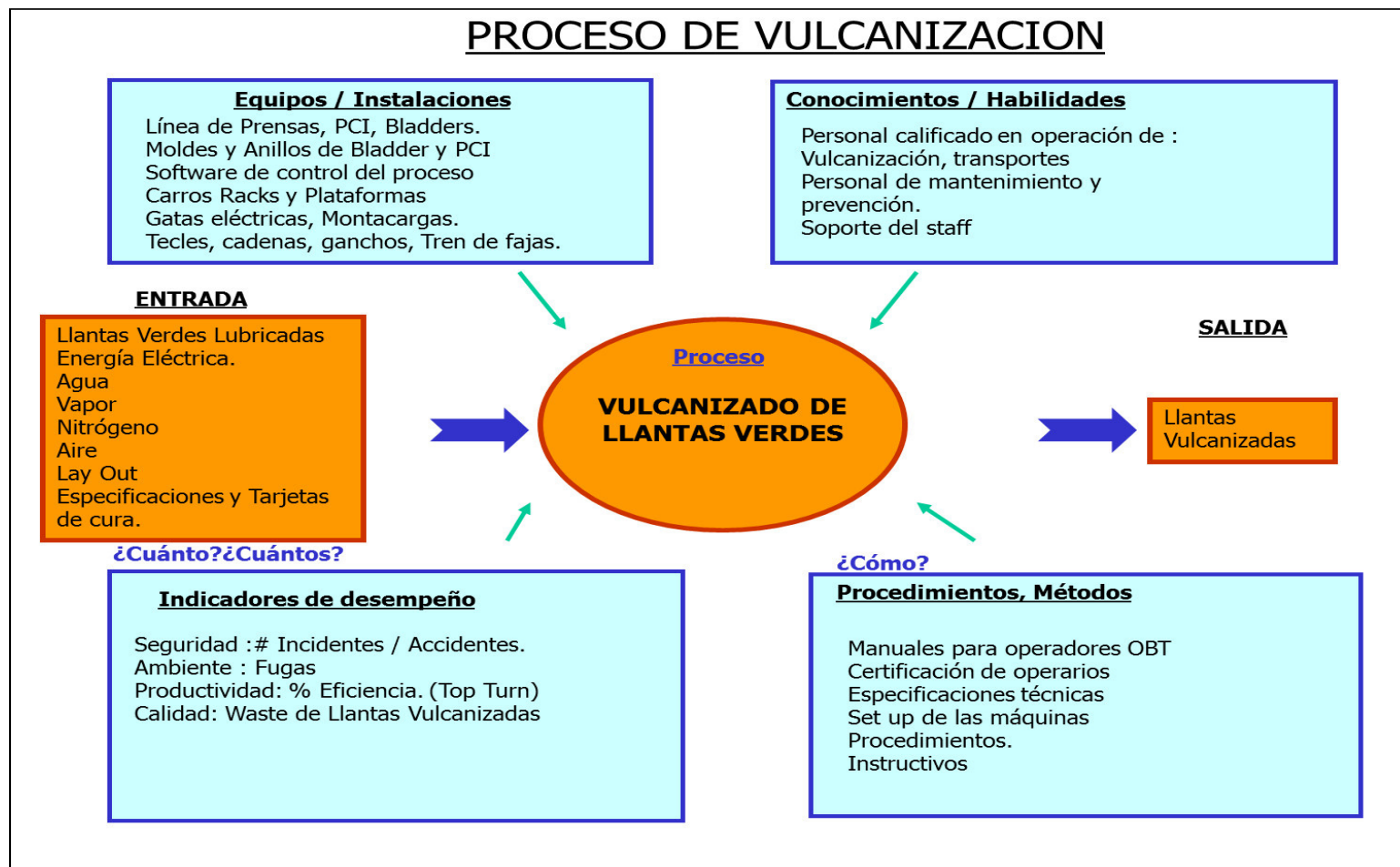


Figura N°18: Proceso de vulcanización

Fuente: Elaboración propia

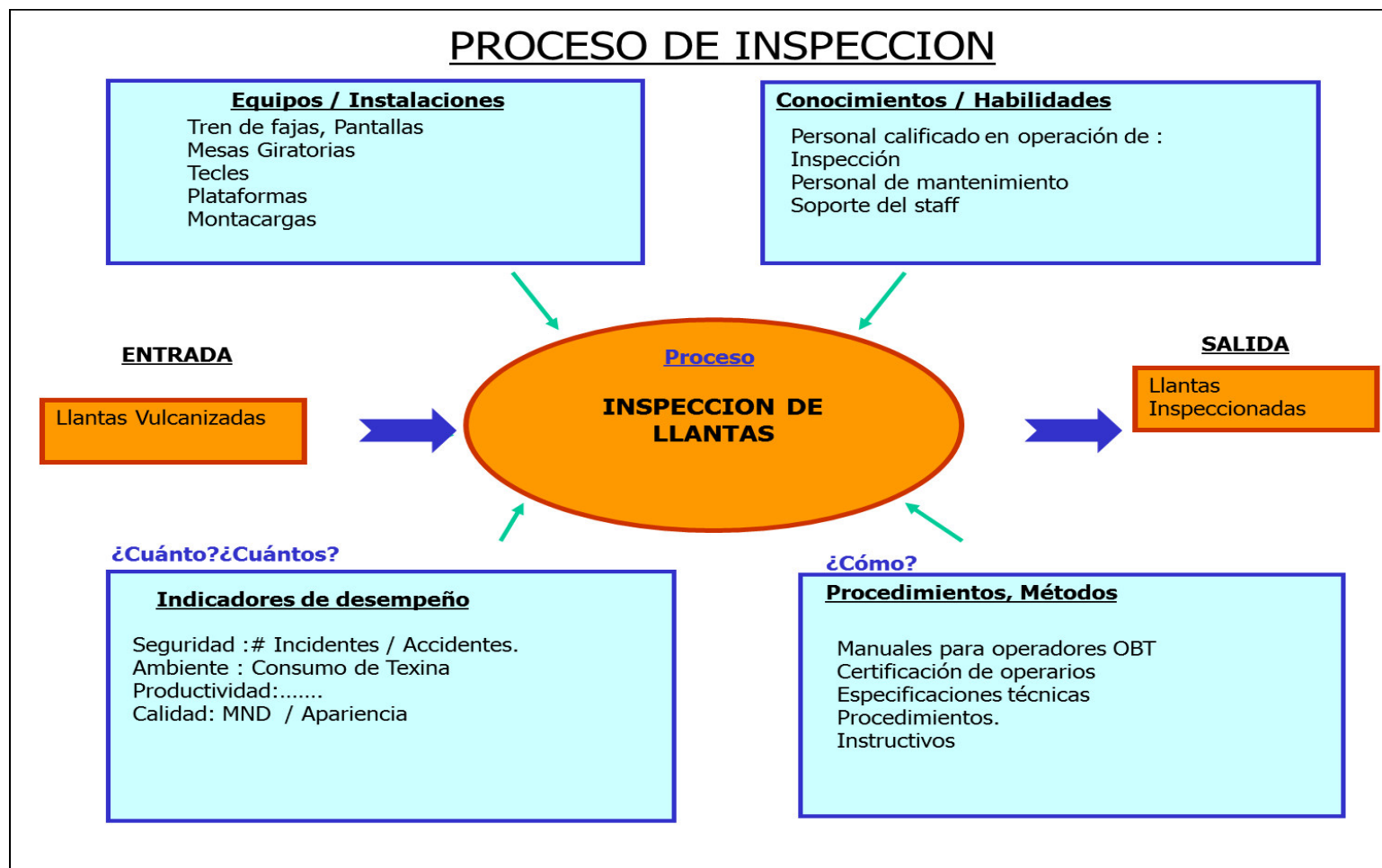


Figura N°19: Proceso de inspección

Fuente: Elaboración propia

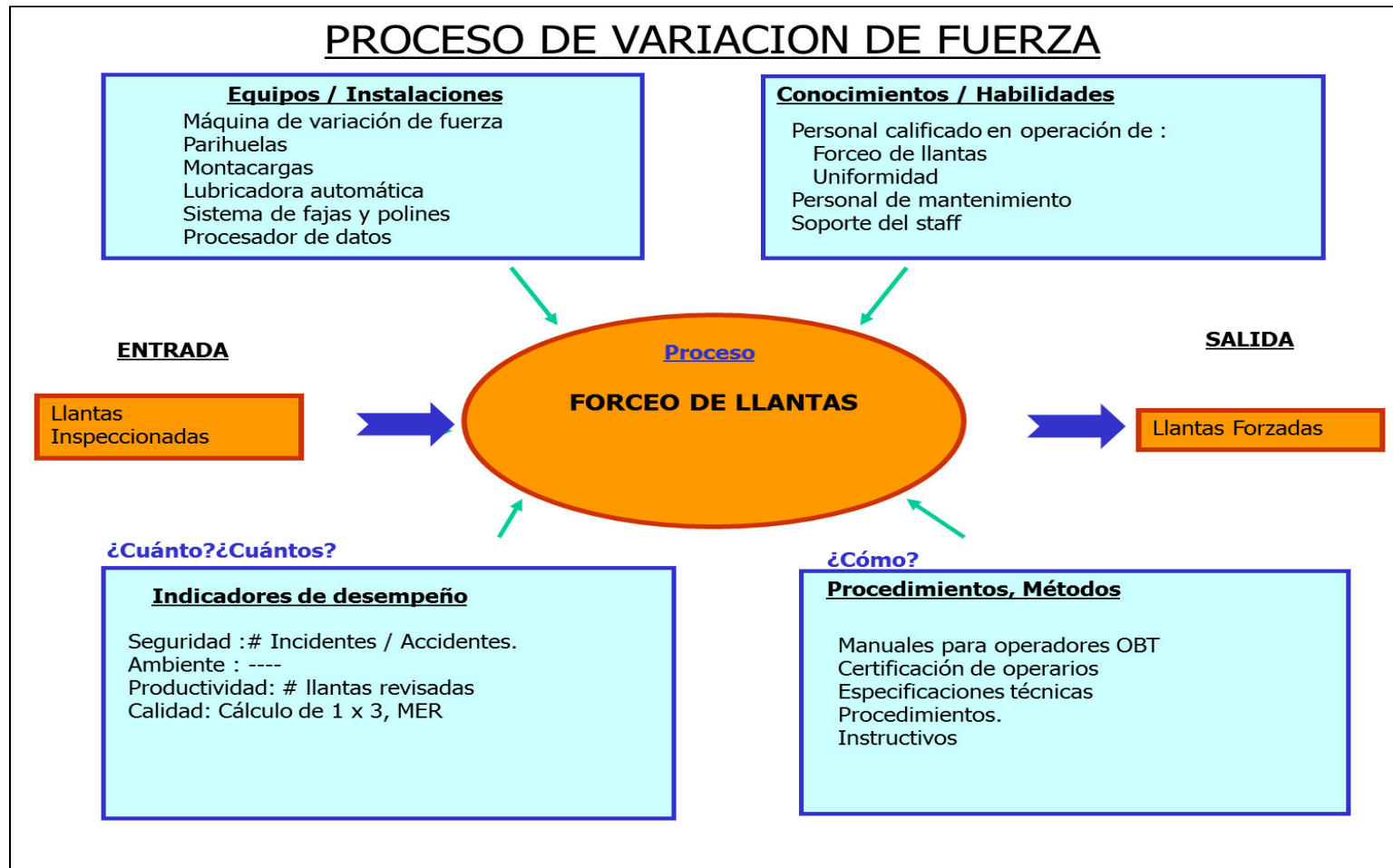


Figura N°20: Proceso de variación de fuerza

Fuente: Elaboración propia

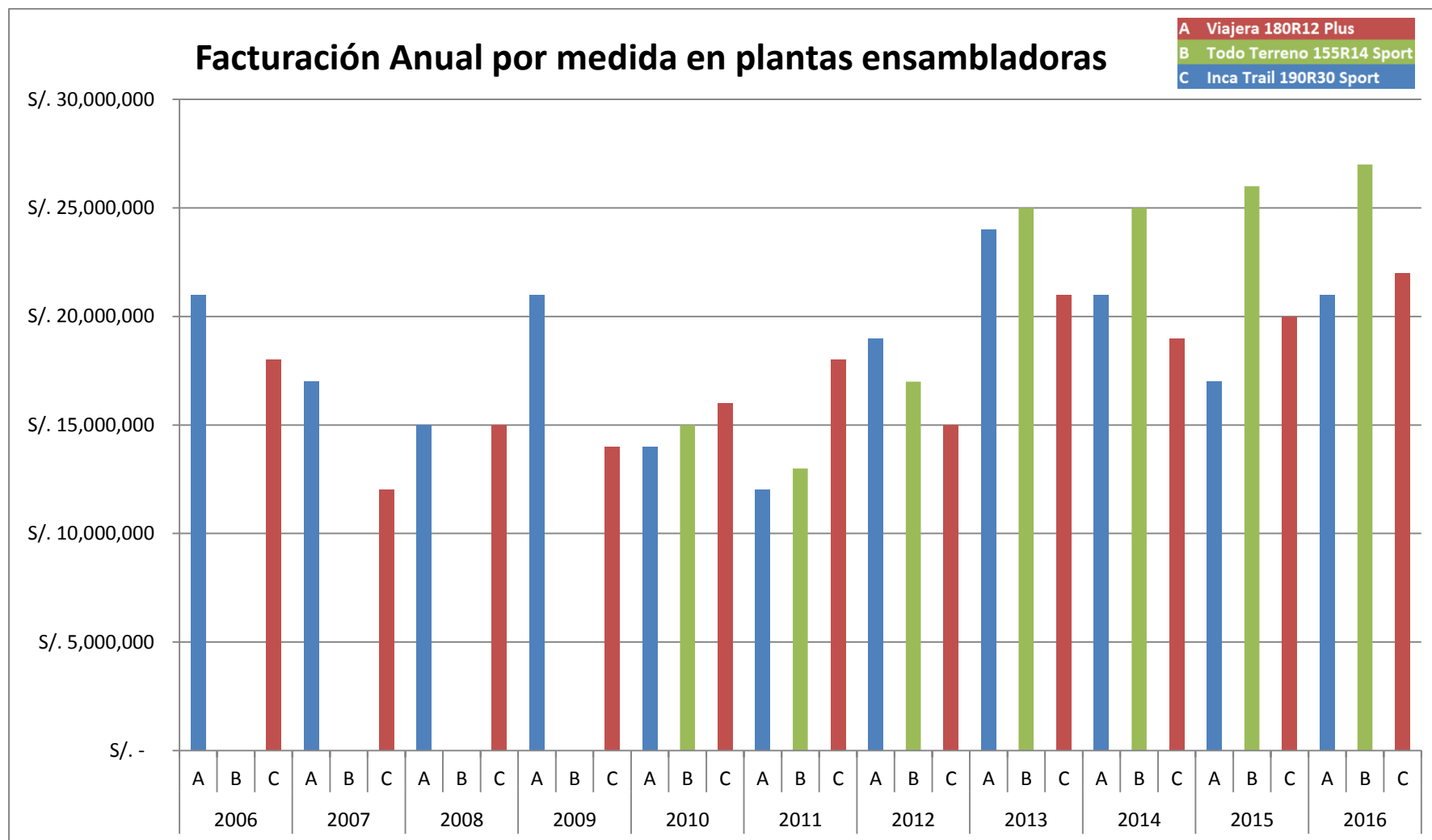


Figura N°21: Facturación anual por medida en plantas ensambladoras
 Fuente: Elaboración propia

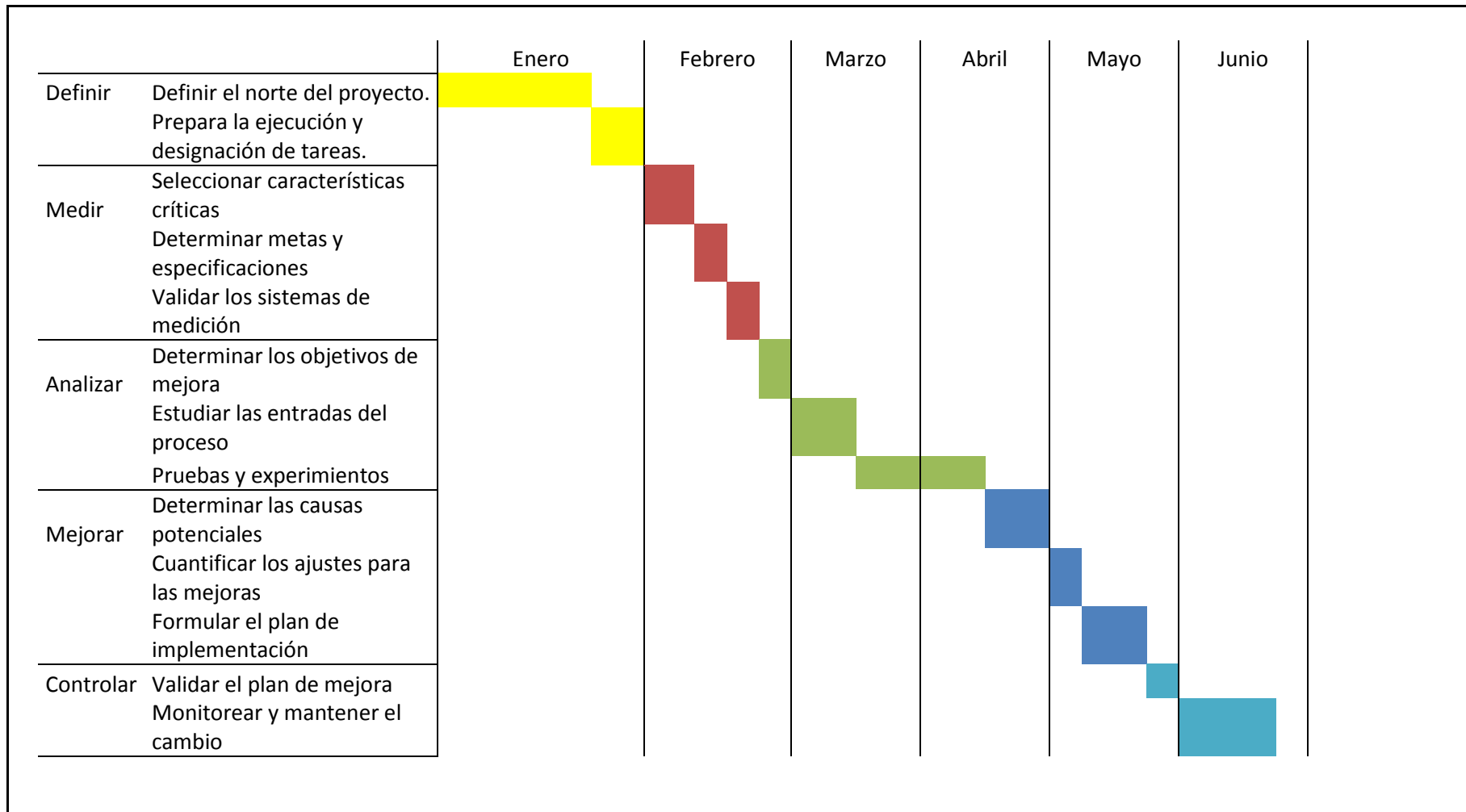


Figura N°22: Cronograma de ejecución del proyecto

Fuente: Elaboración propia

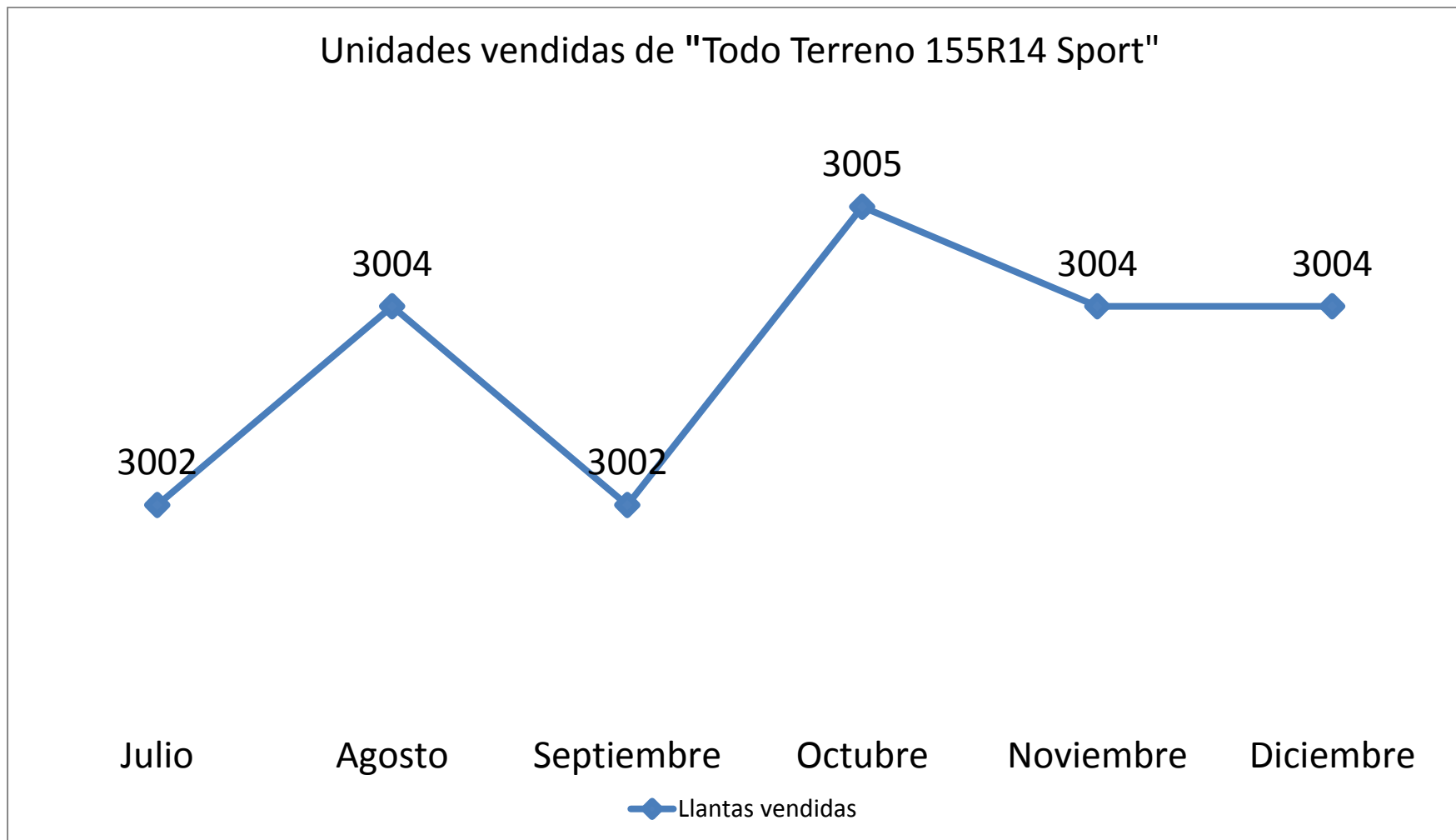


Figura N°23: Unidades vendidas de "Todo Terreno 155R14 Sport"

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Toma de datos inicial

Fuente: Elaboración propia

Constantes para Gráficos de Control																
n	A	A2	A3	c4	1/c4	B3	B4	B5	B6	d2	d3	1/d2	D1	D2	D3	D4
2	2.121	1.880	2.659	0.798	1.253	0.000	3.267	0.000	2.606	1.128	0.853	0.886	0.000	3.686	0.000	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.886	1.128	0.000	2.568	0.000	2.276	1.693	0.888	0.591	0.000	4.358	0.000	2.575
4	1.500	0.729	1.628	0.921	1.085	0.000	2.266	0.000	2.088	2.059	0.880	0.486	0.000	4.698	0.000	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.940	1.064	0.000	2.089	0.000	1.964	2.326	0.864	0.430	0.000	4.918	0.000	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.952	1.051	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.848	0.395	0.000	5.079	0.000	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.959	1.042	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.833	0.370	0.205	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.965	1.036	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.820	0.351	0.388	5.307	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.969	1.032	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.808	0.337	0.547	5.394	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.973	1.028	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.797	0.325	0.686	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.975	1.025	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.787	0.315	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.978	1.023	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.778	0.307	0.923	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.979	1.021	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.770	0.300	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.981	1.019	0.406	1.594	0.398	1.563	3.407	0.763	0.294	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.982	1.018	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.756	0.288	1.203	5.740	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.983	1.017	0.448	1.552	0.440	1.527	3.532	0.750	0.283	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.985	1.016	0.466	1.534	0.459	1.510	3.588	0.744	0.279	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.985	1.015	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.739	0.275	1.424	5.856	0.391	1.609
19	0.688	0.187	0.698	0.986	1.014	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.733	0.271	1.489	5.889	0.404	1.596
20	0.671	0.180	0.680	0.987	1.013	0.510	1.490	0.503	1.470	3.735	0.729	0.268	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.988	1.013	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.724	0.265	1.606	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.988	1.012	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.720	0.262	1.660	5.979	0.435	1.565
23	0.626	0.162	0.633	0.989	1.011	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.716	0.259	1.711	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.989	1.011	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.712	0.257	1.759	6.032	0.452	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.990	1.010	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.708	0.254	1.805	6.056	0.459	1.541

Tabla 6: Tabla de constantes para gráficos de control

Fuente: "Estadística Descriptiva e inferencial", Quinta edición, Manuel Córdova Zamora

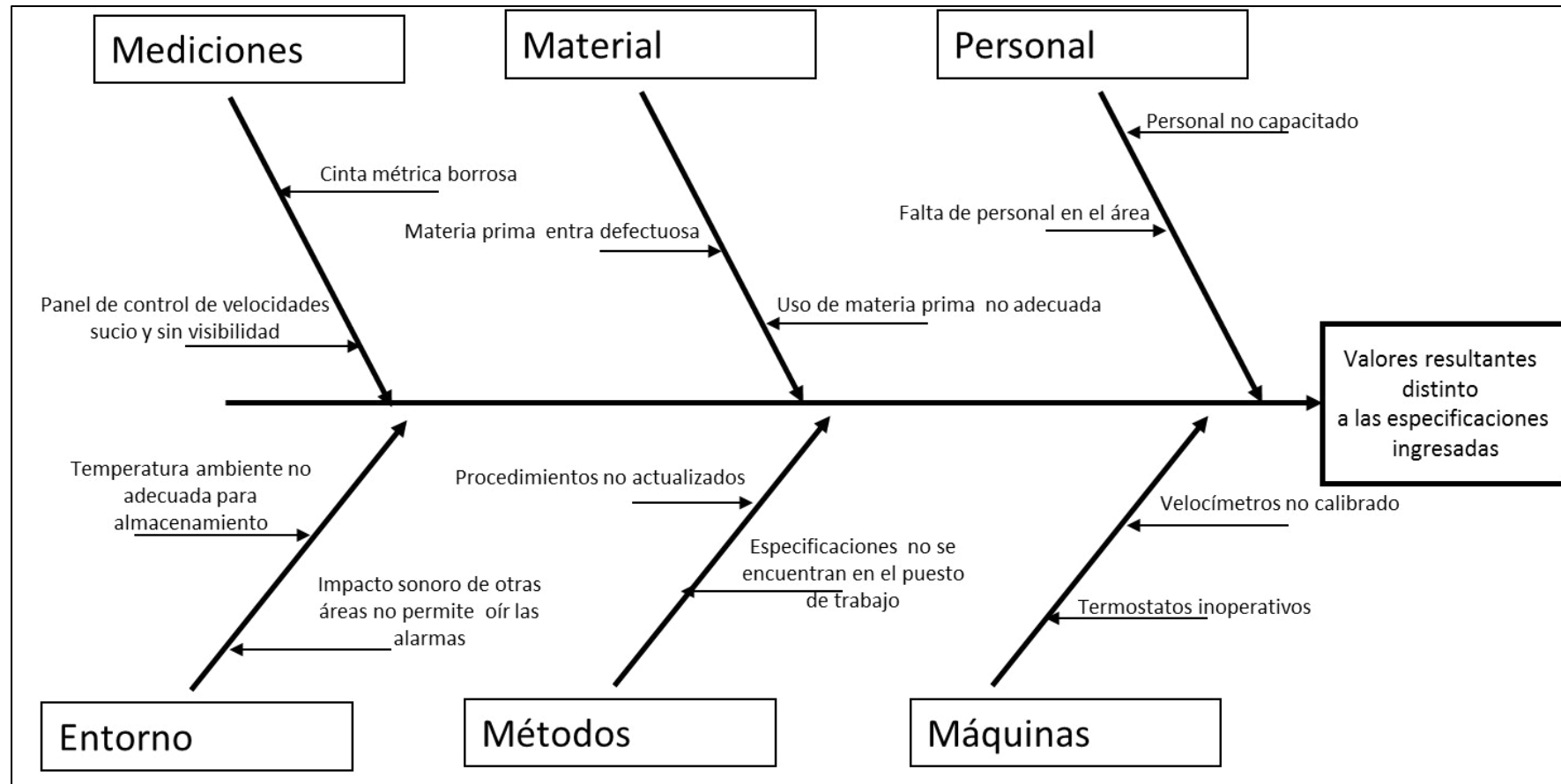


Figura N°39: Análisis Causa Efecto

Fuente: Elaboración propia

Análisis del Modo y Efecto de la Falla											
Proceso	Etapas del proceso	Requerimiento	Modo de falla Potencial	Efecto potencial de la falla	SEVERIDAD (de la falla)	Causa potencial de la falla	Controles/Preve nción	OCURRENCIA (de la falla)	Controles/ Detección	DETECCION (de la falla)	NPR
Fabricación de neumáticos	Extrusión de costados	Largo del material de acuerdo a especificación	Corte más largo	Variación de Fuerza Radial alta	6	Velocímetros no calibrados	Check List de máquina	4	Automática	1	24
			Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Materia prima defectuosa	Check List de materia prima	1	Visual	3	18
			Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Uso de materia prima no adecuada	Panel visual	4	Visual	3	72
			Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Temperatura ambiente no adecuada para almacenamiento del producto en proceso	No existe	2	Manual	3	36
			Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Termostatos inoperativos	Check List de máquina	5	Automática	2	60
			Ingreso de parámetros incorrectos	Variación de Fuerza Radial alta	7	Panel de control de velocidades sin visibilidad	No existe	5	Visual	3	105
			Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Personal no capacitado	No existe	4	No existe	3	60
			Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Falta de personal en el área	Indicadores de producción	3	Automática	3	45
			Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Impacto sonoro de otras áreas no permite oír las alarmas	No existe	2	No existe	3	30
			Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Procedimientos actualizados	No existe	1	No existe	1	5
			Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Especificaciones no se encuentran en el puesto de trabajo	Check List	5	Visual	2	50
			Mediciones incorrectas	Variación de Fuerza Radial alta	7	Cinta métrica borrosa	No existe	4	Visual	1	28

Enrollado de pliegos	Largo del material de acuerdo a especificación	Corte más largo	Variación de Fuerza Radial alta	6	Velocímetros no calibrados	Check List de máquina	2	Automática	1	12
		Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Materia prima defectuosa	Check List de materia prima	3	Visual	3	54
		Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Uso de materia prima no adecuada	No existe	2	Visual	3	36
		Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Temperatura ambiente no adecuada para almacenamiento del producto en proceso	No existe	5	Manual	3	90
		Encogimiento del material luego del almacenamiento	Variación de Fuerza Radial alta	6	Termostatos inoperativos	Check List de máquina	4	Automática	2	48
		Ingreso de parámetros incorrectos	Variación de Fuerza Radial alta	7	Panel de control de velocidades sin visibilidad	No existe	2	Automática	3	42
		Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Personal no capacitado	No existe	3	No existe	3	45
		Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Falta de personal en el área	Indicadores de producción	5	Automática	3	75
		Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Impacto sonoro de otras áreas no permite oír las alarmas	No existe	1	No existe	3	15
		Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Procedimientos actualizados	No existe	5	No existe	1	25
		Maquinaria mal calibrada	Variación de Fuerza Radial alta	5	Especificaciones no se encuentran en el puesto de trabajo	Check List	2	Visual	2	20
		Mediciones incorrectas	Variación de Fuerza Radial alta	7	Cinta métrica borrosa	No existe	3	Visual	1	21

Tabla 11: Análisis del Modo y Efecto de la Falla

Fuente: Elaboración propia

Plan de Mejora					
Etapas del proceso	Causa potencial de la falla	NPR	Solución	Responsable de ejecución	Fecha de entrega de resultados
Extrusión de costados	Panel de control de velocidades sin visibilidad	105	El panel no tiene visibilidad porque las celdas digitales están sucias y necesitan ser reemplazadas por un tablero nuevo.	Área de mantenimiento	01-may
Enrollado de pliegos	Temperatura ambiente no adecuada para almacenamiento del producto en proceso	90	Reubicación de la zona de almacenamiento a un lugar con techo alto para que las temperaturas altas del verano no afecten las longitudes de los componentes	Área de mantenimiento	01-may
Enrollado de pliegos	Falta de personal en el área	75	Toma de tiempos para definir el número de personal que sería necesario para balancear la línea, así como reportar si todos cuentan con la capacitación adecuada.	Equipo de mejora continua	01-may
Extrusión de costados	Uso de materia prima no adecuada	72	Mejorar el tablero de supermercados de materiales y las etiquetas de identificación, diseñarlas más grandes y de color fosforescente para que sean visibles desde lejos.	Equipo de mejora continua	01-may
Extrusión de costados	Personal no capacitado	60	Tomar un examen de capacitación calificado para saber el nivel de conocimiento de la máquina, luego programar capacitaciones.	Área de seguridad y entrenamiento	01-may
Extrusión de costados	Termostatos inoperativos	60	Incluir la revisión de termostatos y velocímetros de todas las áreas dentro del Checklist previo al arranque de máquina, para evitar cualquier falla	Área de seguridad y entrenamiento	07-may
Enrollado de pliegos	Materia prima defectuosa	54	El área de enrollado de pliegos no cuenta con un área señalizada donde colocar la merma, por lo que muchas veces confunden el material bueno y malo. Se implementará señalizaciones visuales y un lugar para el desperdicio.	Equipo de mejora continua	07-may
Extrusión de costados	Especificaciones no se encuentran en el puesto de trabajo	50	El escritorio del área está muy desordenado y no tiene cajones ni repisas. Se colocará un mueble nuevo y se aplicará 5S's para ubicar las especificaciones en un lugar específico.	Área de compras/Equipo de mejora continua	07-may
Enrollado de pliegos	Termostatos inoperativos	48	Incluir la revisión de termostatos y velocímetros de todas las áreas dentro del Checklist previo al arranque de máquina, para evitar cualquier falla	Área de seguridad y entrenamiento	07-may
Extrusión de costados	Falta de personal en el área	45	Toma de tiempos para definir el número de personal que sería necesario para balancear la línea, así como reportar si todos cuentan con la capacitación adecuada.	Equipo de mejora continua	07-may
Enrollado de pliegos	Personal no capacitado	45	Tomar un examen de capacitación calificado para saber el nivel de conocimiento de la máquina, luego programar capacitaciones.	Área de seguridad y entrenamiento	07-may
Enrollado de pliegos	Panel de control de velocidades sin visibilidad	42	El panel no tiene visibilidad porque las celdas digitales están sucias y necesitan ser reemplazadas por un tablero nuevo.	Área de mantenimiento	15-may

Extrusión de costados	Temperatura ambiente no adecuada para almacenamiento del producto en proceso	36	Reubicación de la zona de almacenamiento a un lugar con techo alto para que las temperaturas altas del verano no afecten las longitudes de los componentes	Área de mantenimiento	15-may
Enrollado de pliegos	Uso de materia prima no adecuada	36	Mejorar el tablero de supermercados de materiales y las etiquetas de identificación, diseñarlas más grandes y de color fosforescente para que sean visibles desde lejos.	Equipo de mejora continua	15-may
Extrusión de costados	Impacto sonoro de otras áreas no permite oír las alarmas	30	Se hará un estudio de ruidos y decibeles permitidos. De acuerdo a esto se aislarán acústicamente los motores que generen este tipo de contaminación	Área de seguridad y entrenamiento	15-may
Extrusión de costados	Cinta métrica borrosa	28	Comprar nuevas cintas métricas para el control de calidad y desechar las inutilizables.	Área de compras	15-may
Enrollado de pliegos	Procedimientos actualizados	25	Reunión del equipo de calidad y producción para revisar que las áreas de trabajo tengan sus especificaciones actualizadas. Designar a un responsable para el monitoreo.	Equipo de mejora continua	15-may
Extrusión de costados	Velocímetros no calibrados	24	Incluir la revisión de termostatos y velocímetros de todas las áreas dentro del Checklist previo al arranque de máquina, para evitar cualquier falla	Área de seguridad y entrenamiento	21-may
Enrollado de pliegos	Cinta métrica borrosa	21	Comprar nuevas cintas métricas para el control de calidad y desechar las inutilizables.	Área de compras	21-may
Enrollado de pliegos	Especificaciones no se encuentran en el puesto de trabajo	20	El escritorio del área está muy desordenado y no tiene cajones ni repisas. Se colocará un mueble nuevo y se aplicará 5S's para ubicar las especificaciones en un lugar específico.	Área de compras/Equipo de mejora continua	21-may
Extrusión de costados	Materia prima defectuosa	18	El área de enrollado de pliegos no cuenta con un área señalizada donde colocar la merma, por lo que muchas veces confunden el material bueno y malo. Se implementará señalizaciones visuales y un lugar para el desperdicio.	Equipo de mejora continua	21-may
Enrollado de pliegos	Impacto sonoro de otras áreas no permite oír las alarmas	15	Se hará un estudio de ruidos y decibeles permitidos. De acuerdo a esto se aislarán acústicamente los motores que generen este tipo de contaminación	Área de seguridad y entrenamiento	21-may
Enrollado de pliegos	Velocímetros no calibrados	12	Incluir la revisión de termostatos y velocímetros de todas las áreas dentro del Checklist previo al arranque de máquina, para evitar cualquier falla	Área de seguridad y entrenamiento	21-may
Extrusión de costados	Procedimientos actualizados	5	Reunión del equipo de calidad y producción para revisar que las áreas de trabajo tengan sus especificaciones actualizadas. Designar a un responsable para el monitoreo.	Equipo de mejora continua	31-may

Tabla 13: Plan de mejora
Fuente: Elaboración propia